POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria dei Processi Industriali

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettrica

Dipartimento di Elettrotecnica

ANALISI E VALUTAZIONE TECNICA/ECONOMICA DI TRE POSSIBILI REALIZZAZIONI DI IMPIANTI ELETTRICI CIVILI

Relatore: Ing. Stefano Maggi

Tesi di Laurea Specialistica di:
Luigi Giannini
Matr. 681107

Anno Accademico 2009-2010

Vorrei ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato nell'elaborazione e nella stesura di questa Tesi.
Un grazie particolare al mio Relatore Ing. Stefano Maggi per l'instancabile supporto, la fiducia datami in tutto il progetto, la sua disponibilità e i suoi utili consigli.
Desidero ringraziare il Sig. Giorgio Rigoldi impiegato presso PiùPrezzi della CCIAA di Milano per avermi concesso la possibilità di consultare il Prezzario della CCIAA di Milano e per la sua disponibilità.
Non posso non ringraziare tutte le Ditte del settore che con molta pazienza hanno risposto ai miei questionari.
Un sentito ringraziamento ai miei genitori, per il sostegno "morale" (vero mamma?) ed economico, che mi hanno permesso di diventare la persona che sono, alla mia fidanzata Elisa per l'aiuto nelle correzioni grammaticali e per essermi stata vicina sia nei momenti difficili che felici. Un ulteriore ringraziamento a mia sorella Rossella, a i miei amici e ai compagni di università.

Un grazie di cuore a tutti, senza di voi non ce l'avrei mai fatta!

Luigi

INDICE

PREMESSA

L’interesse maturato durante la formazione universitaria e la passione per il settore degli impianti elettrici e dell’automazione, mi ha spinto ad approfondire le mie conoscenze sulle soluzioni impiantistiche in ambito civile. Mi sono dunque imbattuto nell’ampio settore della Domotica, oggi di grande attualità sia per il rapido sviluppo della tecnologia che per i provvedimenti in tema di efficienza energetica degli edifici.
Poter progettare impianti che permettono nuovi modi di abitare e mettere a confronto le svariate soluzioni disponibili per scoprirne pregi e difetti, mi rendeva ancor più desideroso di conoscere questo argomento, portandomi a valutare un nuovo approccio relativo alla realizzazione di impianti elettrici civili.
E’ per tutti questi affascinanti ed interessanti motivi che ho deciso di affrontare la mia Tesi di Laurea nel campo impiantistico per riuscire a comprendere al meglio questo settore così importante ed attuale.

INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni, l'ingresso nella società dell'informazione, la convergenza fra tecnologie come l'informatica, l'elettronica e le telecomunicazioni, il crescere delle esigenze ed il mutare di una società in costante evoluzione non potevano non avere conseguenze sul rapporto tra impianti ed abitazioni. E' in questo contesto che l'inizio del terzo millennio conosce un'altra innovazione destinata a mutare gli scenari domestici: la domotica.

Sono disponibili diverse piattaforme implementabili negli impianti elettrici civili. La loro scelta è legata all'esigenza di introdurre nell'abitazione livelli crescenti di automazione degli impianti: illuminazione, controllo carichi, antintrusione, climatizzazione, controllo accessi, ecc. Si passa da sistemi di tipo centralizzato, caratterizzati generalmente da piattaforme analogiche classiche, a sistemi di tipo decentralizzato, con le piattaforme a Bus.

Quest'ultime permettono, con costi sostenibili per un impianto residenziale, la gestione integrata e coordinata delle varie reti domestiche.

Attraverso lo studio, la progettazione e l'analisi tecnico/economica dell'impianto elettrico di più soluzioni abitative di diversa grandezza, si esegue un confronto fra tre diverse piattaforme:

- Piattaforma analogica classica di tipo cablato,
- Piattaforma a Bus di tipo cablato,
- Piattaforma totalmente wireless (assenza di cablaggi).

Oltre alla progettazione tecnica dell'impianto si vuole in particolare confrontare le tre possibili realizzazioni, evidenziando il rapporto funzionalità/costi per ciascuna piattaforma indicata.

Il lavoro intende valutare un nuovo approccio relativo alla realizzazione di impianti elettrici, inserendosi nell'ampio settore della Domotica.
Nel primo capitolo si tratta lo stato dell'arte sulle varie piattaforme attualmente utilizzate al fine di mostrare nuovi modi di abitare con un sistema domotico aperto, interoperabile e conforme alle norme. Si inizia con la piattaforma analogica classica in modo da capirne i limiti per poi passare alla piattaforma a Bus. Essa ha subito nel corso degli anni un processo di convergenza che ha portato alla definizione di uno standard unico, denominato KNX. Si esamina la normativa per i sistemi domotici, la norma CEI EN 50090. Delle piattaforme a Bus si analizza in particolare le soluzioni KNX, nello specifico: la cablata, in onda convogliata, in radio frequenza ed ethernet/IP. Si studia le sue caratteristiche principali, le modalità di configurazione, i mezzi trasmissivi, per poi analizzare i componenti, la topologia, l'ampliamento del sistema, la trasmissione dati e la comunicazione fra gli apparecchi.
Interessante risulta essere il secondo capitolo che affronta il tema della tecnologia ZigBee: protocollo per reti wireless. Tale tecnologia è basata su standard IEEE 802.15.4/LR-WPAN ed è indirizzata ad ampie aree di applicazioni fra le quali la domotica. Si introducono, dunque, le WPAN e i layer dell'intero stack IEEE 802.15.4/ZigBee definito dalla ZigBee Alliance e dalla IEEE. Del protocollo IEEE 802.15.4 e ZigBee si passa alla sua descrizione generale per poi esaminarne le topologie di rete e più in dettaglio i vari livelli: fisico, MAC, rete e applicazione. Si termina trattando la sicurezza e l'affidabilità della tecnologia ZigBee.
Nel capitolo tre la Smart Mesh Building implementa la tecnologia ZigBee nella nuova piattaforma proposta: wireless mesh network. Essa propone kit modulari integrabili (costituiti da hardware miniaturizzato “ad hoc”) per una gestione flessibile e moderna del proprio impianto elettrico e dei dispositivi connessi. E' basata su un nuovo modello di comunicazione: un sistema

wireless a mesh ad alta tecnologia e raffinato design. Si inizia con l'esame della struttura del sistema Smart Mesh Building, costituita appunto da kit, per poi descrivere ed analizzare le funzioni dei singoli kit: base, luce, termostato, gestione azionamenti, gestione consumi e risparmio energetico luce. Nonché i costi che SMB deve sostenere per produrre i kit finiti.

Il quarto è il capitolo principale in cui viene studiato, progettato ed analizzato tecnicamente/economicamente l'impianto elettrico di più soluzioni abitative con l'uso delle tre piattaforme prima citate. Si comincia con il progetto dell'impianto elettrico di una unità abitativa di media grandezza per poi passare a quello di una unità abitativa di piccola grandezza. Dalle dotazioni previste e in base all'arredamento si descrive/progetta l'impianto luce e delle prese/azionamenti. Per entrambe le unità abitative, dopo aver analizzato i circuiti di comando e di potenza delle singole soluzioni (tradizionale, a Bus cablata e wireless), si stilano i preventivi di spesa. Le scelte progettuali e lo studio di unità abitative di diversa grandezza mettono in luce da un lato le differenze economiche tra le tre piattaforme e dall'altro permettono di ragionare sulla soluzione più vantaggiosa.

L'ultimo capitolo, il quinto, espone un confronto fra le tre soluzioni proposte per sottolinearne vantaggi e svantaggi. Si procede a una prima analisi delle diversità tra impianto tradizionale e a bus per evidenziare le differenze principali tra l'installazione tradizionale e "intelligente". Poi si analizzano le differenze tra impianto cablato e senza fili. Si evidenzia, in particolare, la flessibilità, la funzionalità, l'adattabilità e il risparmio economico dei sistemi wireless (senza fili) rispetto alle soluzioni cablate; vantaggi dovuti soprattutto al mezzo di trasmissione, all'installazione e alle opere strutturali. Si vuole, quindi, mostrare le peculiarità di maggior pregio/difetto di ogni soluzione proposta al fine di sottolineare la diversità tra una soluzione pre-domotica, basata su una piattaforma analogica classica e una soluzione domotica, a bus.

La tesi, infine, si conclude con le mie personali riflessioni sull'intero lavoro svolto al fine di mostrare luci e ombre del futuro degli impianti elettrici.

CAPITOLO 1

1
IMPIANTI ELETTRICI CIVILI

1.1 GENERALITA'

Gli impianti elettrici negli edifici civili comprendono tutte quelle parti di impianto che, partendo da punti di allacciamento alla rete di distribuzione, arrivano fino agli apparecchi utilizzatori degli edifici aventi destinazione residenziale (abitazioni private o collettive, uffici, negozi, studi professionali, ecc.). Nel corso degli anni l'impianto di casa è uscito dal suo ambito originario di rete di comando e di distribuzione elettrica per integrare funzioni di informazione, regolazione dell'impianto termico, sicurezza, segnalazione e distribuzione di segnali (audio, telefonici o dati), solo per citare le più diffuse.
Tanti miglioramenti sono stati anche introdotti per vivere in modo più confortevole o per svolgere meglio il proprio lavoro e le proprie attività. Ormai in ogni edificio si trovano apparecchi che consentono automazioni e

controlli, come termostati, dimmer per le luci, controllo carichi, cancelli elettrici e così via.

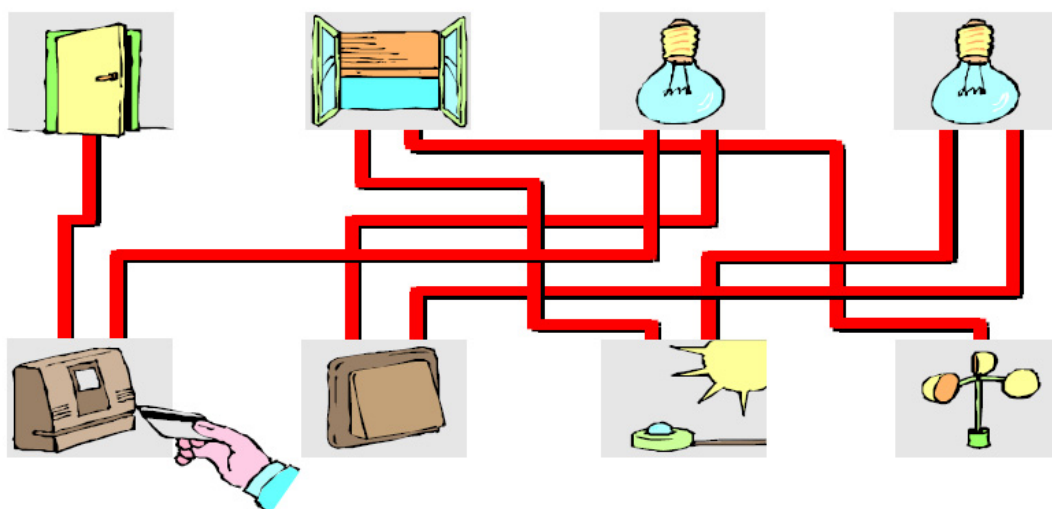
Negli ultimi decenni, l'ingresso nella società dell'informazione, la convergenza fra tecnologie come l'informatica, l'elettronica e le telecomunicazioni, il crescere delle esigenze ed il mutare di una società in costante evoluzione non potevano non avere conseguenze sul rapporto tra impianti ed abitazioni. E' in questo contesto che l'inizio del terzo millennio conosce un'altra innovazione destinata a mutare gli scenari domestici: la domotica.

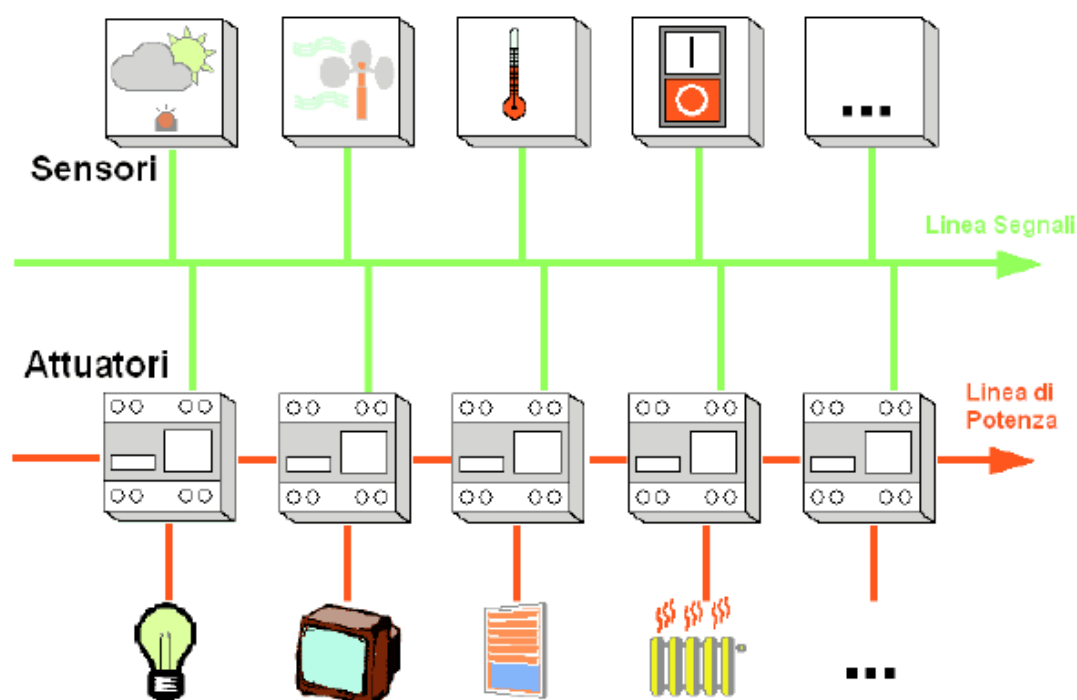
Per domotica si intende l'insieme dei prodotti, dei programmi, dei servizi e degli strumenti di progettazione disponibili per rendere più intelligente ed integrato il funzionamento dei vari impianti ed equipaggiamenti tecnici presenti nei moderni edifici residenziali.

Agli impianti tradizionali costituiti da una piattaforma analogica classica si sono affiancate le piattaforme a Bus. Questo perché con la tecnica di installazione tradizionale i vari impianti che equipaggiano la casa, come l'illuminazione, il riscaldamento o l'azionamento motorizzato delle tapparelle, vengono progettati e realizzati separatamente e gestiti da sistemi diversi. Le varie funzioni vengono svolte da impianti che non dialogano fra loro, con molti dispositivi ridondanti.

Una gestione integrata e coordinata dei vari impianti non è possibile e l'interfacciamento dei vari sistemi, ammesso che sia realizzabile, comporta costi insostenibili per un impianto residenziale. La disponibilità della tecnologia Bus ha permesso di superare questi limiti.

Nelle installazioni tradizionali ciascun apparecchio di comando (ad esempio un interruttore) è direttamente collegato a tutte e sole le utenze elettriche (ad esempio le lampade) che deve attivare, disattivare o regolare.

Cablaggio tradizionale:

Nei sistemi a Bus, al contrario, le utenze elettriche e i rispettivi apparecchi di comando non sono direttamente collegati. Le segnalazioni e i comandi vengono infatti inviati attraverso un mezzo di trasmissione ed eseguiti, grazie a un codice di indirizzamento, dai soli dispositivi interessati. Tutti i componenti del sistema (apparecchi di comando, rilevatori di stato, utenze elettriche ecc.) sono quindi connessi, direttamente o attraverso opportuni dispositivi, al mezzo di trasmissione che è unico in tutto il sistema e che trasferisce comandi e segnalazioni da un componente all'altro. Il mezzo di trasmissione è denominato Bus.

Cablaggio intelligente:

L'interazione, o per meglio dire l'integrazione, dei diversi dispositivi e delle diverse funzioni è quindi agevolata con i sistemi Bus. Questi consentono ai vari impianti di un edificio: illuminazione, climatizzazione, sicurezza, antintrusione, controllo accessi, automatismi e così via, di diventare un sistema "unico", volto a rendere migliore la vita personale e lavorativa e a incidere positivamente sui consumi energetici, salvaguardando l'ambiente e, non meno importante, il bilancio personale o aziendale.

1.2 PIATTAFORMA ANALOGICA CLASSICA

Gli impianti elettrici tradizionali sono realizzati prevalentemente con apparecchi elettromeccanici. Le tipiche funzioni delle abitazioni sono l'accensione e lo spegnimento di lampade, le segnalazioni con suonerie e

lampade spia, l'apertura di elettroserrature, oltre alla distribuzione dell'energia elettrica mediante prese. Si cerca di automatizzare tutte queste funzioni per comodità e, in certi casi, per necessità al fine di migliorare la qualità della propria vita, permettendo di avere maggiore sicurezza, gestendo a distanza apparecchi domestici e funzionalità, demandando funzioni e comandi, ecc.

Gli apparecchi di comando più usati nelle abitazioni sono gli interruttori, i deviatori, gli invertitori ed i pulsanti.

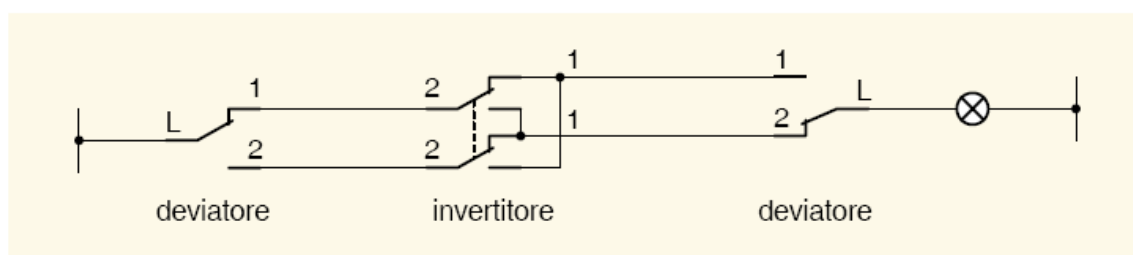
Ad esempio: per l'illuminazione è necessario azionare una o più luci da minimo un punto a più punti di comando. Tipicamente per il comando di una luce:

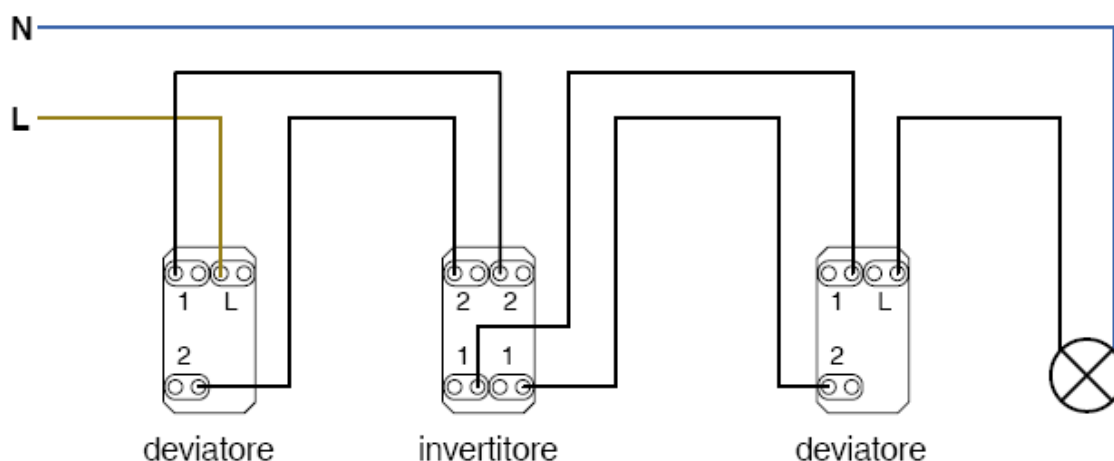
- da un punto, si impiega un interruttore,
- da due punti, due deviatori,
- da tre punti, due deviatori e un invertitore
- da più di tre punti, per l'aumento di cablaggi e cavi, solitamente si preferisce impiegare tanti pulsanti quanti sono i punti di comando ed un attuatore (relè passo-passo).

Consideriamo il comando da tre punti di un apparecchio di illuminazione, il cavo di rete, svolge due funzioni:

- la funzione di alimentazione;
- e la funzione di circuito di comando.

I deviatori vanno posti in posizione definibile di "testa" mentre l'invertitore va inserito in mezzo. Come si può notare dallo schema funzionale, l'invertitore è in grado di effettuare uno scambio contemporaneo di due conduttori, mentre il deviatore di uno.

Schema funzionale:

Il cavo di alimentazione va portato dal quadro ai tre comandi ed all'utenza.

Schema di collegamento:

Nell'invertitore è indispensabile l'individuazione delle due coppie di morsetti alle quali far capo con i conduttori provenienti dai due deviatori di testa.

Nel deviatore è fondamentale l'individuazione del morsetto centrale, infatti, come si può rilevare dagli schemi, è quello che determina lo scambio di percorso della corrente.

Il funzionamento anomalo del circuito con accensioni e spegnimenti apparentemente illogici è senz'altro da imputarsi ad un errore di collegamento.

Il tipo di accensione è rigidamente fissato nel collegamento fisico dei vari dispositivi. Quindi il cablaggio è vincolante per le funzioni da realizzare e comporta un numero molto elevato di linee, e tutte di potenza.
Ogni comando richiede una linea dedicata che arriva all'oggetto da comandare. Inoltre qualsiasi modifica, anche banale, comporta il rifacimento del cablaggio.
Questo vale non solo per il circuito di illuminazione presentato, ma per tutti i circuiti dell'intero impianto.
E' possibile automatizzare gli impianti residenziali impiegando appropriati dispositivi a seconda della funzione richiesta. Ad esempio: è possibile pilotare le accensioni e gli spegnimenti di un impianto di riscaldamento tramite l'impiego di termostati e temporizzatori programmabili, oppure l'azionamento motorizzato e orario di tapparelle. Dunque alcuni comandi possiamo definirli: pre-domotici.
L'impianto visto nell'insieme, però, è formato da tanti sottoimpianti indipendenti, ognuno con le sue funzioni, che non dialogano fra loro. L'interfacciamento dei vari sistemi, se è tecnicamente realizzabile, comporta dei costi insostenibili per un impianto residenziale.

1.3 PIATTAFORMA A BUS

Con un sistema a bus, per esempio cablato, il circuito di comando viene separato da quello di alimentazione di rete. Un relè per l'interruzione del circuito è presente nel dispositivo di attuazione, separato dai comandi e collegato direttamente all'utenza. Il cavo bus collega in una rete i comandi e l'attuatore permettendo lo scambio di informazioni tra essi. Fornisce inoltre una bassissima tensione di sicurezza (SELV) per l'alimentazione della parte

elettronica dei dispositivi. Ai comandi, e più in generale a tutti i sensori di un sistema bus, non si collega il cavo di alimentazione di rete ma si porta esclusivamente il cavo di segnale.
Per il funzionamento del sistema, occorre un'attività di programmazione dei dispositivi bus, inesistente per l'installazione tradizionale.
La chiusura e l'apertura del circuito di comando non è più effettuata da un meccanismo inserito nel comando stesso. Scompare quindi il vincolo della corrente massima sopportabile dai contatti ed utenze a piacere per tipo e numero, disposte ovunque nell'edificio, possono essere controllate contemporaneamente da un unico comando in tecnologia bus.
Sensori ed attuatori possono scambiarsi messaggi sulla rete di segnale bus, ciò permette non solo comandi di accensione e spegnimento delle utenze ma anche complessi compiti di controllo, regolazione, monitoraggio e segnalazione.
Le stesse informazioni sono disponibili in ogni punto della rete bus, diventa possibile monitorare e comandare l'impianto ovunque nell'edificio e trasmettere e ricevere messaggi da remoto.
I circuiti di comando diventano da fisici a logici, ciò significa che il cablaggio non è più così vincolante per le funzioni da realizzare. Una volta effettuata la predisposizione mediante il cavo bus, se si rende necessario un punto di comando aggiuntivo è sufficiente collegare un apparecchio bus al punto più vicino dove è presente il cavo.
Esistono sistemi bus aperti e proprietari. L'apertura è legata alla possibilità da parte dei costruttori di condividere informazioni per realizzare prodotti che possono funzionare insieme. Queste informazioni devono essere molto approfondite: non sono sufficienti semplici schemi di collegamento meccanico od elettrico ma occorrono specifiche tecniche di dettaglio del sistema come il mezzo trasmissivo da utilizzare od il protocollo di comunicazione.

L'alternativa ai sistemi aperti sono i sistemi proprietari, in questo caso le specifiche tecniche sono patrimonio di un solo costruttore e non vengono rese pubbliche, neppure a pagamento. In assenza di informazioni, le altre aziende non sono in grado di realizzare prodotti che possano dialogare con il sistema proprietario, se non per concessione diretta del costruttore.
Oltre all'apertura, per far funzionare insieme prodotti di diversi costruttori il sistema deve essere interoperabile. In base alla classificazione ISO l'interoperabilità tra dispositivi è raggiunta quando:

- i dispositivi impiegano il medesimo protocollo di comunicazione,
- un dispositivo è in grado di riconoscere se un pacchetto di informazioni è ad esso indirizzato,
- se sono possibili l'estrazione o la codifica dei dati,
- infine, dopo una fase di configurazione, gli apparecchi devono essere in grado di inviarsi dati completati da informazioni aggiuntive come ad esempio il tipo di dato, il significato o lo scopo.

Un sistema aperto ed interoperabile deve poi tradursi in standard di mercato, lo può diventare quando è conforme alle norme applicabili. A livello europeo la definizione di uno standard comune per i sistemi di domotica e building automation è stata svolta a partire dalla metà degli anni '90 dal CENELEC con l'elaborazione della Norma EN 50090.

1.3.1 PROCESSO DI CONVERGENZA

I primi anni di vita del settore dell'automazione di edificio è stato caratterizzato dalla costituzione di associazioni e consorzi fra diversi costruttori allo scopo di definire uno standard comune.

Nel contempo sono apparsi sul mercato numerosi sistemi di tipo proprietario, alcuni commercializzati ancora oggi, e ciò ha rafforzato la convinzione del pericolo di una eccessiva frammentazione del mercato, spingendo ad alcune iniziative associative in campo europeo. Nel giro di qualche anno sono state fondate tre associazioni di costruttori in diretta concorrenza fra loro: BCI, EHSA ed EIBA.

BCI (BatiBUS Club International) è un'associazione fondata nel 1989 che ha messo a disposizione delle aziende associate una serie di strumenti per lo sviluppo di prodotti basati sulla rete di comunicazione BatiBUS. L'obbiettivo era sviluppare un sistema bus dedicato all'automazione d'edificio basato su un protocollo di comunicazione comune. Infatti si deve a BCI l'introduzione sul mercato del primo vero e proprio sistema bus per l'automazione degli edifici, orientato ad applicazioni sia di tipo residenziale che terziario. Ogni apparecchio BatiBUS poteva comunicare con qualsiasi altro collegato in rete indipendentemente dal costruttore. Il mezzo trasmissivo era un cavo a due conduttori intrecciati (twisted pair), eventualmente schermato, di tipo telefonico od elettrico.

EHSA (European Home System Association) è un'associazione di costruttori fondata nel 1990 che ha acquisito le specifiche EHS e ne ha proseguito lo sviluppo. La caratteristica più interessante è senza dubbio la propensione allo sviluppo di apparecchiature di tipo plug&play, ossia dispositivi che per il loro funzionamento richiedono semplicemente di essere collegati alla rete, senza necessità di programmazione e messa in servizio. Per il trasferimento dei segnali di controllo tra le diverse apparecchiature, i mezzi trasmissivi previsti per EHS erano la rete di alimentazione elettrica, il cavo coassiale per TV od il doppino telefonico.

EIBA (European Installation Bus Association) società di tipo cooperativo fondata nel 1990 basata sull'uso del sistema standard EIB per l'automazione degli edifici. EIB è un sistema decentralizzato sviluppato in

modo specifico per le applicazioni di domotica e building automation e basato sul modello di riferimento OSI per i sistemi di comunicazione. I mezzi trasmissivi supportati sono il cavo a conduttori intrecciati (TP, twisted pair), l'onda convogliata (PL,power line) e i raggi infrarossi (IR, infra red), a questi si è aggiunta la radio frequenza (RF, radio frequency). Lo standard EIB garantisce l'interoperabilità degli apparecchi e dei sistemi realizzati dai vari produttori.

Alla metà degli anni '90 il CENELEC aveva intrapreso un impegnativo lavoro per la definizione di uno standard comune per i sistemi di domotica e building automation.

I rappresentanti di queste tre associazioni di costruttori hanno cominciato, intorno alla metà degli anni '90, a tracciare le linee di un progressivo avvicinamento, concordando sulla necessità di definire uno standard unico che fosse interamente conforme alla norma europea in corso di preparazione. Si voleva definire una piattaforma comune di home and building automation che riunisse il meglio di quanto sviluppato fino a quel punto. Per indicare il processo di armonizzazione delle tre proposte è stato adottato il termine significativo di convergenza.

Durante la fase di convergenza i principali ambiti di standardizzazione e le priorità da affrontare erano:

- scelta dei mezzi trasmissivi;
- adozione delle regole di installazione definite dal CENELEC;
- definizione di un protocollo di comunicazione condiviso;
- sviluppo del modulo di collegamento con la rispettiva applicazione;
- definizione delle specifiche di tre modi di configurazione;
- garanzia dell'interoperabilità dei prodotti di differenti costruttori;
- generazione di un database di prodotti certificati.

Il processo di convergenza ha portato alla definizione di un unico standard, denominato KNX, e alla nascita di un'unica associazione chiamata Konnex.

Alla fondazione di Konnex ha fatto seguito la costituzione delle associazioni nazionali, fra le quali anche Konnex Italia con sede a Milano. Nel 2006 Konnex ha deciso di semplificare la comunicazione a livello internazionale e l'associazione è stata ridenominata semplicemente KNX Association.

1.3.2 LA NORMATIVA

A livello europeo le attività di formazione per i sistemi domotici per la casa e l'edificio sono cominciate nel 1986, quando il CENELEC ha istituito il comitato HBES (Home and Building Electronic Systems).
Gli enti nazionali di normazione hanno partecipato attivamente in sede CENELEC alla definizione di una norma europea, da recepire poi a livello nazionale e non il contrario.
A partire dal 1995 il CENELEC è stato in grado di pubblicare le varie parti della Norma EN 50090. La parte 2.2 in particolare, ha assunto grande importanza definendo i requisiti tecnici che i dispositivi HBES devono soddisfare in base alle direttive europee sulla bassa tensione e sulla compatibilità elettromagnetica.
Nel dicembre del 2003, il protocollo KNX con i mezzi trasmissivi TP (Twisted Pair) e PL (Power Line) è stato approvato dai comitati nazionali europei e ratificato come Standard Europeo EN 50090. Tre anni più tardi è stato approvato anche il mezzo trasmissivo RF (Radio Frequency).
In Italia la norma europea elaborata in sede CENELEC è stata progressivamente recepita a partire dal 1998 con la denominazione di CEI EN 50090 (vedi tabella 1.1).

Tab. 1.1 – La norma CEI EN 50090 “Sistemi elettronici per la casa e l’edificio (HBES)”				
Parte	**Class. CEI**	**Anno**	**Edizione**	**Titolo**
CEI EN 50090-2-1	83-2	1998	prima	Parte 2-1: Panoramica del sistema - Architettura
CEI EN 50090-2-2	83-5	1998	prima	Parte 2-2: Panoramica generale - Requisiti tecnici generali
CEI EN 50090-2-2/A1	83-5 V1	2004	-	Parte 2-2: Panoramica generale - Requisiti tecnici generali
CEI EN 50090-2-3	205-7	2006	prima	Parte 2-3: Panoramica del sistema - Requisiti generali di sicurezza funzionale per prodotti destinati ad un sistema HBES
CEI EN 50090-3-1	83-3	1997	prima	Parte 3-1: Aspetti applicativi – Introduzione alla struttura applicativa
CEI EN 50090-3-2	205-1	2004	seconda	Parte 3-2: Aspetti dell’applicazione – Processo utente per HBES di Classe 1
CEI EN 50090-4-1	205-9	2006	prima	Parte 4-1: Livelli indipendenti dal mezzo – Livello applicazione per HBES di Classe 1
CEI EN 50090-4-2	205-4	2005	prima	Parte 4-2: Livelli indipendenti del mezzo – Livello di trasporto, livello di rete e parti generali del livello di collegamento dati per HBES di Classe 1
CEI EN 50090-5-1	205-3	2005	prima	Parte 5-1: Mezzi di trasmissione e livelli dipendenti dagli stessi – Trasmissione di segnali su rete elettrica a bassa tensione per HBES Classe 1
CEI EN 50090-5-2	205-8	2005	prima	Parte 5-2: Mezzi e livelli dipendenti dai mezzi – Reti basate su HBES di Classe 1, coppia ritorta
CEI EN 50090-5-3	205-11	2007	prima	Parte 5-3: Mezzi e livelli dipendenti dai mezzi – Radio frequenza
CEI EN 50090-7-1	205-5	2005	prima	Parte 7-1: Gestione del sistema – Procedure di gestione
CEI EN 50090-8	83-10	2001	prima	Parte 8: Valutazione di conformità dei prodotti
CEI EN 50090-9-1	205-6	2005	prima	Parte 9-1: Prescrizioni di installazione – Cablaggio generico per sistemi HBES di Classe 1 su coppia ritorta

Oltre ad accogliere nel corpo normativo nazionale le varie parti della norma europea, il CEI ha affrontato il tema dell’impiego della tecnologia bus negli edifici in diverse Norme e Guide.

In ordine cronologico è apparsa prima la Norma 64-15: “Impianti elettrici negli edifici pregevoli per rilevanza storica e/o artistica”.

Da questa ha successivamente preso spunto per la preparazione della Guida 83-11: “I sistemi BUS negli edifici pregevoli per rilevanza storica e artistica”, pubblicata nel 2001.

Nel corso del 2005 è stata pubblicata la Guida 205-2: “Guida ai sistemi bus su doppino per l’automazione nella casa e negli edifici, secondo le Norme CEI EN 50090”.

Nel 2007, infine, il CEI ha pubblicato: “Guida alla domotica: sistemi elettronici per la gestione della casa”.

1.3.3 PIATTAFORMA KNX

Le principali caratteristiche di KNX sono riassunte nello schema di riferimento della piattaforma di sistema di figura 1.1.

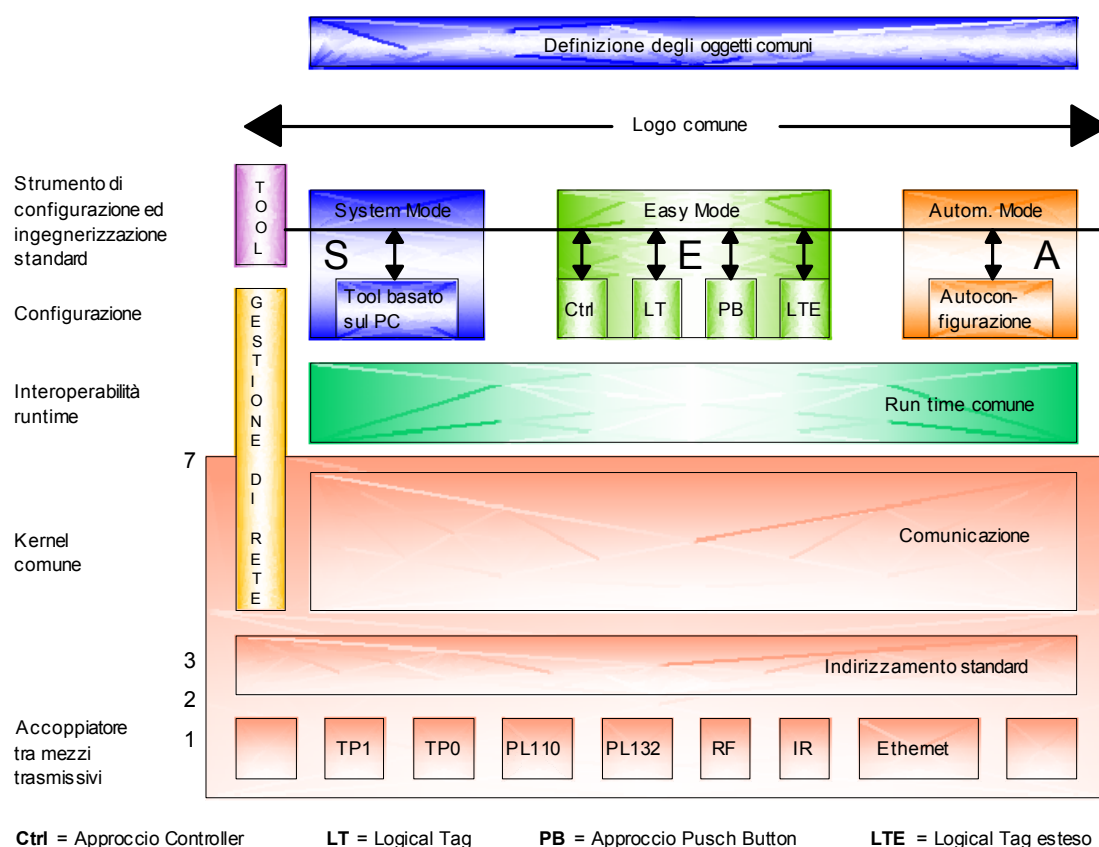



Fig. 1.1: Piattaforma KNX risultato della convergenza

Partendo dall'alto dello schema, l'aspetto più rilevante è la definizione di un insieme di oggetti comuni per consentire ai costruttori di realizzare apparecchi interoperabili da collegare alla rete bus di segnale.
Per individuare i vari nodi di rete, collegarli logicamente fra loro e definire come debba funzionare ogni applicazione, è necessario configurare gli apparecchi che arrivano indifferenziati dalla fabbrica. Sono state definite tre diverse modalità di configurazione:

- System Mode: questa modalità richiede l'uso del PC e del programma ETS (Engineering Tool Software);
- Easy Mode: si tratta di una modalità semplificata che non prevede l'uso del PC ma offre altri sistemi di configurazione come microinterruttori, pulsanti, configuratori portatili o fissi;
- Auto Mode: è una modalità di autoconfigurazione degli apparecchi, basata sul principio di collegamento plug&play.

Attualmente si trovano sul mercato apparecchi che possono essere messi in servizio con le prime due modalità, la terza, pensata soprattutto per l'integrazione nell'impianto domotico di elettrodomestici, apparecchiature audio/video ed altri prodotti consumer, è in attesa di implementazione da parte dei costruttori di questi settori.
Proseguendo con l'esame della piattaforma, il nucleo comune (common kernel) contiene il sistema di comunicazione destinato a supportare la configurazione di impianto e lo svolgimento delle applicazioni distribuite. Esso comprende il protocollo per lo scambio dei messaggi, un insieme di mezzi trasmissivi diversi ed i modelli per gestire la comunicazione in ogni nodo di rete.
L'ampia scelta di mezzi trasmissivi tiene conto delle varietà di situazioni impiantistiche di fronte alle quali si trova l'automazione d'edificio: dalle nuove costruzioni alle ristrutturazioni, dai piccoli edifici residenziali ai grandi complessi terziari. Infatti l'insieme di mezzi trasmissivi comprende:

- TP1 e PL110, provenienti da EIB Twisted Pair e Power Line;
- TP0 e PL132, provenienti da BatiBUS Twisted Pair ed EHS Power Line;
- RF, radiofrequenza a 868 MHz;
- IR, infrarossi;
- Ethernet/IP.

1.3.3.1 L'IMPIANTO KNX CABLATO

Il sistema KNX cablato (TP, Twisted Pair) utilizza come mezzo trasmissivo un cavo bus di segnale separato dalla rete per la distribuzione di energia elettrica alle utenze. Tutti gli apparecchi, sensori od attuatori, devono essere collegati al bus mentre solo gli attuatori necessitano del collegamento alla rete elettrica.

I mezzi trasmissivi KNX basati su un cavo bus sono due: TP0 (Twisted Pair, tipo 0) e TP1 (Twisted Pair, tipo 1). Il primo proviene dal sistema BatiBUS ed è costituito da un cavo contenente una coppia di conduttori intrecciati che consente una velocità di trasmissione pari a 4800 bit/s. Il TP1 non è altro che il mezzo trasmissivo più utilizzato in EIB: un cavo a conduttori intrecciati con velocità di trasmissione pari a 9600 bit/s.

In comune i due mezzi trasmissivi hanno la comunicazione bidirezionale di tipo half-duplex ed il protocollo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) per la gestione dei conflitti di accesso al bus da parte degli apparecchi. Attualmente il mercato propone solo prodotti KNX TP1.

Una parte degli apparecchi bus KNX TP sono costituiti da tre componenti:

- l'accoppiatore bus;

- il modulo applicativo;
- il programma applicativo.

L’accoppiatore è il cuore di ogni apparecchio bus, è un dispositivo che comprende un controllore ed un modulo di trasmissione.

Il controllore comprende un microprocessore ed una dotazione di memoria suddivisa in ROM, RAM ed EEPROM: la memoria ROM contiene il software di sistema; la RAM contiene l’applicazione ed i valori correnti durante il funzionamento dell’apparecchio; la EEPROM contiene il programma applicativo, gli indirizzi fisico e di gruppo ed i parametri che vengono caricati mediante ETS.

Il modulo di trasmissione collega l’accoppiatore alla rete bus di segnale e svolge un insieme di funzioni:

- invio/ricezione;
- separazione e miscelazione di alimentazione ed informazione;
- protezione dall’inversione di polarità;
- produzione di tensione stabilizzata a 5 o 24 V;
- salvataggio dei dati a tensione inferiore a 18 V;
- reset del processore a tensione inferiore a 4,5 V.

Il modulo applicativo è destinato a svolgere una particolare funzione, può essere: un termostato, un’unità di controllo con display, un rilevatore di movimento, ecc.

Infine, il programma applicativo è il software che effettua direttamente lo scan ed il controllo dell’hardware dei sensori e degli attuattori.

1.3.3.1.1 TOPOLOGIA DI KNX TP

Su di una linea bus, ossia la più piccola unità di KNX TP in grado di funzionare, possono essere collegati un massimo di 64 apparecchi, senza vincoli sulle funzioni svolte. Molti apparecchi dispongono di più canali indipendenti fra loro quindi il numero di circuiti di comando realizzabili è superiore a 64.
La linea va dotata necessariamente di un apparecchio di sistema detto alimentatore che fornisce la bassissima tensione di sicurezza necessaria al funzionamento dell'elettronica degli apparecchi. In casi in cui c'è una particolare concentrazione di apparecchi installati in un tratto di linea bus molto breve, è opportuno installare un secondo alimentatore sulla stessa linea (i due alimentatori devono però essere installati ad una distanza minima di 200 m, misurata lungo la linea bus).
E' possibile derivare più volte la linea e combinare topologie ad albero, bus filare o stella mentre non è ammessa la configurazione ad anello.
Due apparecchi non possono distare fra loro più di 700 m, misurati lungo la linea, ciò è dovuto al tempo necessario ad un messaggio per percorrere la linea bus: se due o più apparecchi incominciano a trasmettere contemporaneamente, la collisione tra messaggi può essere individuata e risolta soltanto rispettando questo limite.
Per un appartamento od una casa unifamiliare una linea può essere sufficiente per realizzare l'intero impianto domotico.
In tabella 1.2 si riportano le varie distanze da rispettare:

Tab. 1.2: Distanze da rispettare tra apparecchi ed alimentatore su di una linea bus

Lunghezza di una linea (comprese tutte le diramazioni)	≤ 1000 m
Distanza fra due apparecchi (misurata lungo la linea)	≤ 700 m
Distanza fra l'alimentatore ed ogni apparecchio	≤ 350 m
Distanza fra due alimentatori collegati ad una stessa linea	≥ 200 m

Quando il numero di apparecchi da collegare supera le 64 unità occorre ampliare il sistema. Sono tre le modalità di ampliamento:

- con segmenti di linea;
- con altre linee;
- con altri campi.

L'ampliamento del sistema con segmenti di linea: consiste nel collegamento tramite accoppiatore di linea, utilizzato come ripetitore, di più segmenti (figura 1.2). Ogni segmento deve disporre di un proprio alimentatore e consente il collegamento di un massimo di 64 apparecchi bus. Un massimo di 3 segmenti possono prolungare la linea bus iniziale per un numero complessivo di 256 apparecchi.

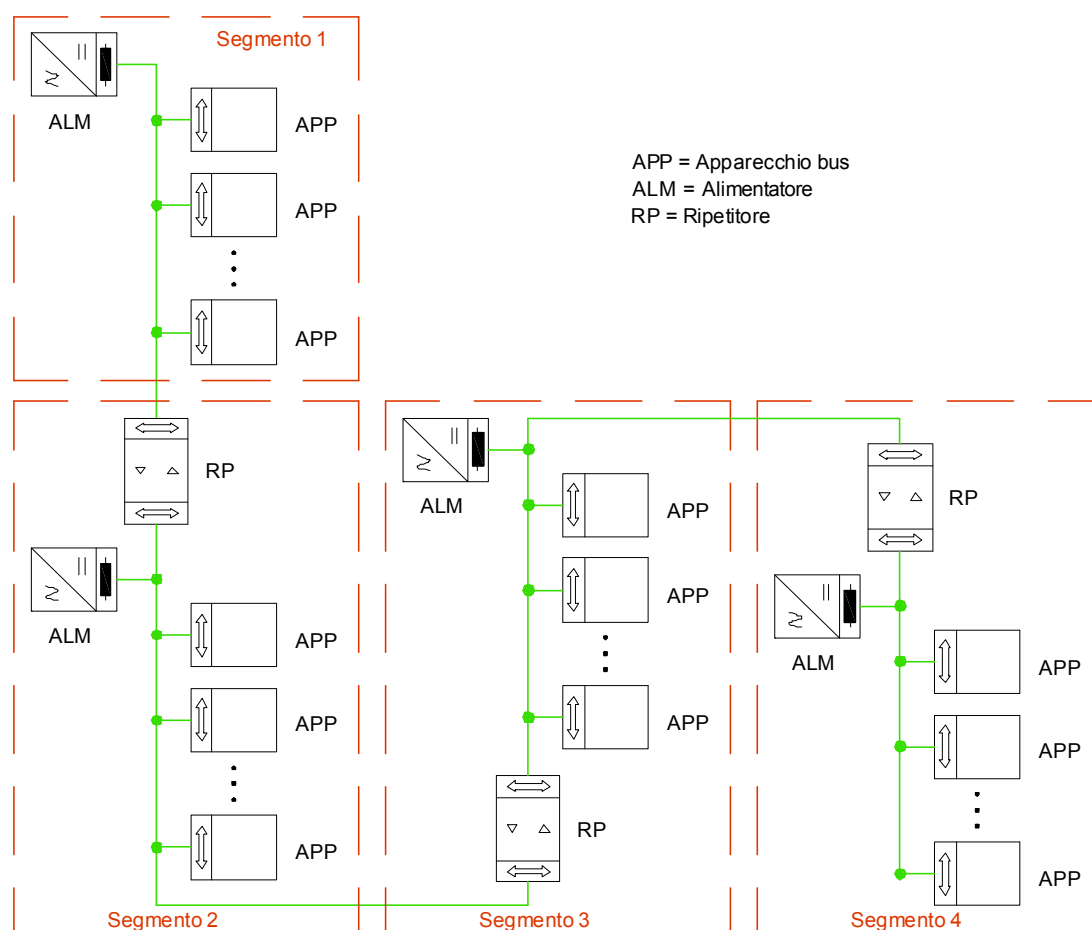



Fig. 1.2: Ampliamento di una linea mediante ripetitori e segmenti.

Per l'ampliamento con altre linee si ricorre all'aggiunta di altre linee bus, collegate alla prima mediante una linea principale ed accoppiatori di linea, fino ad un massimo di 15 linee (figura 1.3): l'insieme di tutte queste linee forma un campo. In un campo possono perciò essere installati fino ad un massimo di 64•15 = 960 apparecchi bus.

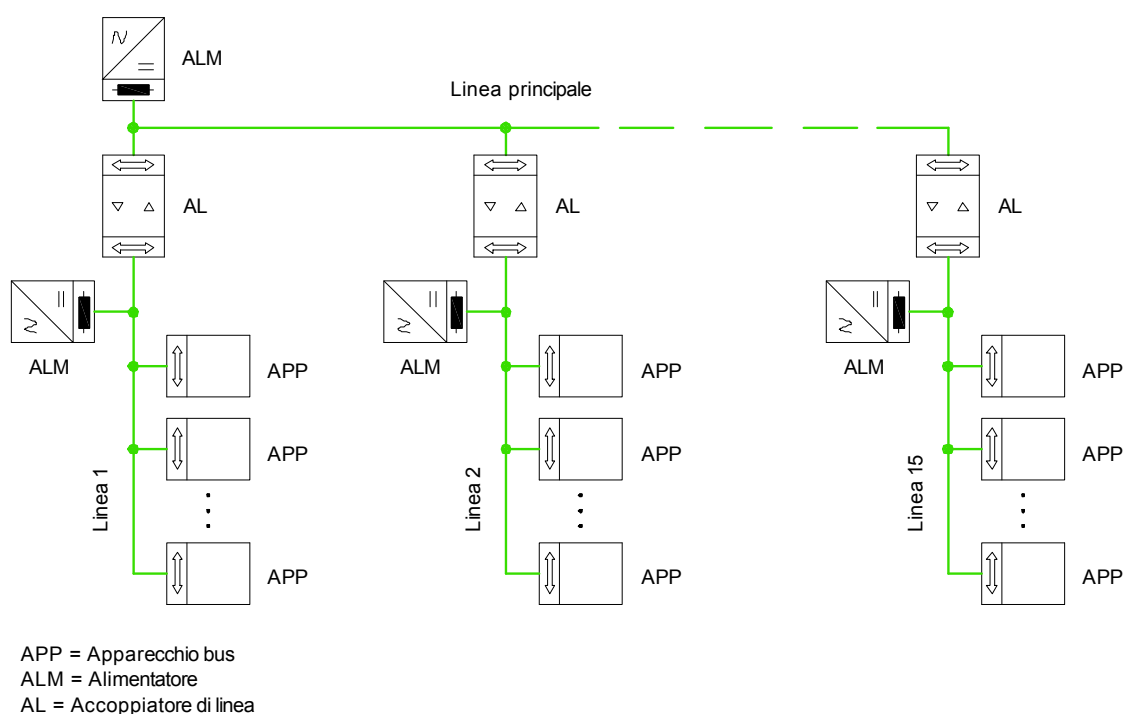



Fig. 1.3: Ampliamento del sistema con altre linee.

Infine l'ampliamento con altri campi permette, configurando in modo opportuno l'accoppiatore di linea, di collegare più campi. Alla linea dorsale di collegamento possono essere collegati un massimo di 15 campi (figura 1.4). Il numero di apparecchi collegabili in questo caso cresce a 960•15 = 14400.

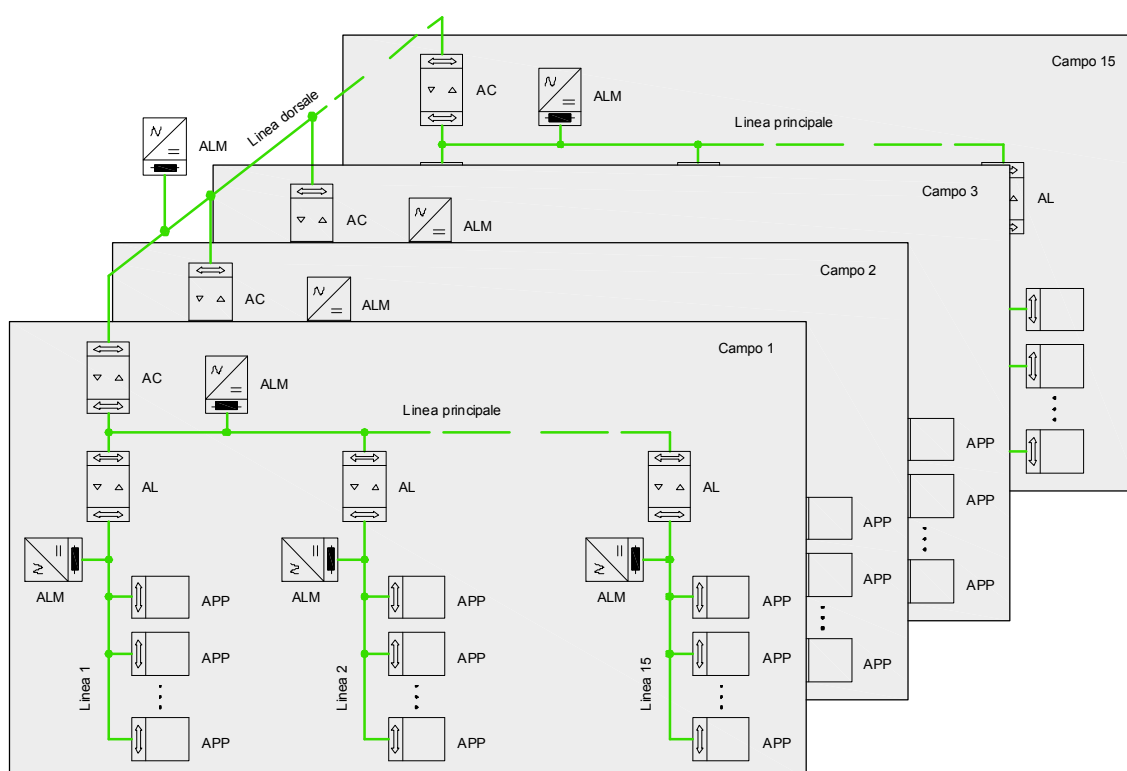



Fig. 1.4: Ampliamento del sistema con altri campi (AC = accoppiatore di campo).

Grazie alla capacità di elaborazione decentralizzata ed alla modularità della configurazione se una linea bus cade, il resto del sistema prosegue a funzionare senza problemi.

La modularità del sistema consente di avviare l'impianto con una sola linea e pochi apparecchi e successivamente di ampliarlo con altre linee in funzione delle esigenze.

Il cavo bus che collega gli apparecchi KNX TP trasferisce sia l'alimentazione SELV per la parte elettronica, sia l'informazione. Gli apparecchi collegati al bus sono in grado di funzionare con una tensione minima di 21 V ed assorbono dal bus in media 150 mW. L'informazione viene trasmessa simmetricamente sui due conduttori del cavo bus, per questo motivo eventuali disturbi non influenzano la trasmissione e non modificano la differenza di potenziale.

KNX utilizza una trasmissione dati digitale di tipo seriale nella quale l'informazione viene organizzata in una sequenza di bit, ognuno dei quali può contenere solo il valore 0 od 1.

Quando un apparecchio invia uno 0 logico la differenza di potenziale fra i conduttori si riduce con un impulso di durata pari a 35 μs. Al contrario, l'invio di un 1 logico non comporta alcuna variazione di tensione. La trasmissione di ogni bit richiede 104 μs.

Per la comunicazione fra gli apparecchi il messaggio viene organizzato in un telegramma. Nell'istante in cui avviene un evento, ad esempio viene premuto un pulsante, l'apparecchio avvia una procedura di invio telegramma (figura 1.5):

- L'apparecchio verifica che nell'intervallo di tempo t_1 non sia in corso la trasmissione di altri telegrammi sul bus. A bus libero, il telegramma viene inviato.
- Quando la trasmissione del telegramma è terminata, gli apparecchi destinatari hanno a disposizione il tempo t_2 per verificare la corretta ricezione.
- Al termine della verifica, i destinatari inviano la conferma.

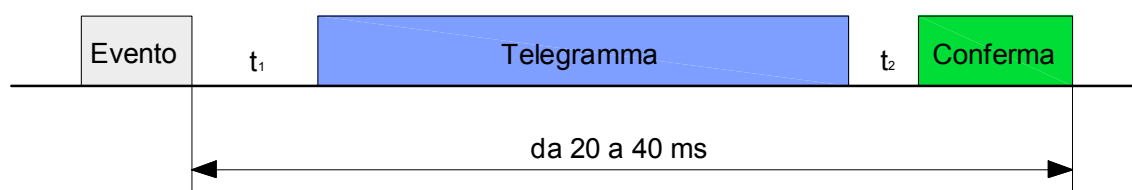



Fig. 1.5: Routine di invio del telegramma.

La procedura è molto veloce se si tiene conto che t_1 corrisponde a 5,2 ms e t_2 a 1,35 ms. Nel caso il telegramma non fosse stato ricevuto correttamente, la trasmissione può essere ripetuta fino a tre volte.

Ogni telegramma (figura 1.6) è costituito da vere e proprie informazioni di utilità che traducono l'evento che si è verificato e da una sequenza di informazioni di servizio, specifiche della trasmissione sul bus.

Fig. 1.6: Struttura del telegramma KNX TP.

Per l'invio, l'informazione viene suddivisa in pacchetti da 8 bit e completata da alcune informazioni di verifica per rilevare eventuali errori di trasmissione. Con una velocità di 9600 kbit/s, il tempo di trasmissione di un telegramma può variare da 20 ms a 40 ms.

Il campo informazione permette la trasmissione delle informazioni di utilità come comandi, controlli, valori, messaggi, ecc.

Il campo di controllo e quello di checksum sono necessari per assicurare un traffico ordinato dei telegrammi e vengono analizzati dall'apparecchio ricevente.

Il campo indirizzo (provenienza e destinazione) contiene gli indirizzi del mittente e del destinatario.

Il contatore di routing serve per evitare che un telegramma venga rilanciato in un impianto per un tempo indefinito.

1.3.3.2 L'IMPIANTO KNX IN ONDA CONVOGLIATA (PL)

Il sistema ad onde convogliate KNX PL (Power Line) utilizza come mezzo trasmissivo la rete di alimentazione 220 V ac già prevista nell'edificio per la distribuzione di energia elettrica alle utenze. Non è quindi necessario un cablaggio separato per la trasmissione del segnale ed ogni apparecchio bus va semplicemente collegato ai conduttori di fase e di neutro.
Vista la possibilità di sfruttare la rete elettrica, il sistema trova applicazione ideale in caso di ristrutturazione dell'edificio o nel collegamento in rete di elettrodomestici od apparecchiature di entertainment, semplificandone drasticamente l'installazione.
KNX PL prevede due diverse frequenze di trasmissione: 110 kHz e 132 kHz, entrambi i mezzi utilizzano il protocollo CSMA per dirimere i conflitti di accesso e sono conformi alla Norma EN 50065 (norma europea che regola la trasmissione di segnali sulle reti di alimentazione elettrica).
Gli apparecchi bus attualmente sul mercato utilizzano il mezzo PL 110 che proviene da EIB, la variante PL 132 che proviene da EHS è ancora in attesa di implementazione da parte dei costruttori.
L'energia necessaria al funzionamento degli apparecchi viene prelevata dalla rete elettrica per cui non sono necessari alimentatori. Se esiste anche una parte di impianto realizzata con KNX TP, un accoppiatore dedicato (media coupler) permette la comunicazione tra PL e TP. E' sempre necessario installare un dispositivo di blocco a valle del punto di consegna dell'energia elettrica (contatore) per impedire l'inoltro di qualsiasi messaggio sulla rete di distribuzione dell'ente erogatore o verso gli impianti vicini.
Analogamente a KNX TP, gli apparecchi sono organizzati in linee e campi ma in questo caso si tratta di linee e campi virtuali. Tra essi non esiste separazione galvanica per mezzo di accoppiatori di linea o di campo, ne

consegue che l'installazione è semplificata ma, a causa della mancanza della funzione di filtro svolta dagli accoppiatori, nelle stesse condizioni di funzionamento il traffico di telegrammi può risultare più elevato rispetto a KNX TP. Il limite teorico di apparecchi collegabili è pari a 2^{15} = 32768 apparecchi. Anche in questo caso la linea è l'unità minima funzionante del sistema ma su di essa possono essere installati fino a 255 apparecchi bus.

La rete KNX PL lavora, come la KNX TP, in modalità bidirezionale half-duplex. Ad un certo istante quindi un solo apparecchio può trasmettere in tutta la rete e la procedura di accesso è regolata dal protocollo CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection). Ogni apparecchio può inviare e ricevere messaggi, comunicando con velocità di trasmissione pari a 1200 bit/s (circa 6 telegrammi al s). Il telegramma PL comprende un nucleo identico al telegramma TP, preceduto e seguito da campi aggiuntivi; l'ID di sistema è particolarmente importante poiché solo apparecchi PL che hanno lo stesso valore di questo campo possono comunicare fra loro.

La rete 220 V ac è una rete aperta nella quale le condizioni di trasmissione, impedenza e disturbo non sono prevedibili con esattezza a causa della grande varietà di utenze elettriche collegate. Per assicurare una trasmissione affidabile dei dati, è stato adottato il protocollo di trasmissione SFSK (Spread Frequency Shift Keying) che prevede la trasmissione dei segnali a due frequenze distinte (105,6 e 115,2 kHz) con la possibilità di riparare i telegrammi nel caso si verifichino disturbi rilevanti durante la trasmissione.

In fase di progettazione è necessaria un'analisi accurata per valutare se le interferenze possano costituire un problema per l'impianto.

1.3.3.3 L'IMPIANTO KNX IN RADIO FREQUENZA (RF)

KNX RF rappresenta l'alternativa per realizzare impianti domotici wireless. Dato che molti apparecchi non richiedono di essere cablati, KNX RF è particolarmente adatto in caso di ristrutturazione di un edificio, limitando fortemente l'impatto dei lavori di installazione. Può anche rappresentare una valida soluzione per estendere un impianto KNX TP.
In un sistema wireless non esistono vincoli di topologia, come nel caso di KNX TP, o di impiego della rete elettrica, come nel caso di KNX PL, e gli apparecchi possono essere collocati virtualmente ovunque. Ogni sensore RF può comunicare con qualsiasi attuatore RF che si trovi entro la portata massima di trasmissione del segnale. L'interferenza tra impianti installati in abitazione vicine è sempre esclusa, grazie ad opportuni accorgimenti.
Il tipo di alimentazione richiesta dagli apparecchi dipende dalla funzione svolta. Ad esempio un sensore che agisce come puro trasmettitore non deve restare permanentemente in ascolto del canale di comunicazione e, per questo motivo, richiede poca energia. Attualmente apparecchi di questo tipo sono alimentati da una batteria di lunga durata ma in futuro è da attendersi la diffusione di altre fonti come celle fotovoltaiche o dispositivi piezometrici. Un attuatore, contrariamente, richiede più energia non solo per restare in ascolto di eventuali telegrammi ma anche per la sua funzione principale di comando di utenze e necessita pertanto dell'alimentazione di rete 220 V ac.
Per quanto riguarda la comunicazione, un apparecchio KNX RF può svolgere la funzione di trasmettitore, di ricevitore oppure entrambe.
La frequenza di trasmissione è pari a 868,3 MHz ed è compresa nella banda ISM (campo di frequenze riservato ad applicazioni Industriali, Scientifiche e Medicali).

La velocità di trasmissione raggiunge i 16384 bit/s, superiore a quella KNX TP, ciò permette di inviare informazioni aggiuntive, specifiche della comunicazione RF, e di mantenere la capacità di traffico intorno ai 50 telegrammi al secondo. Infatti analogamente a TP e PL, l'informazione viene scambiata mediante telegrammi, pur se con delle particolarità dovute al mezzo.

Per ora i costruttori hanno privilegiato la configurazione in modalità Easy Mode che non richiede l'uso del PC, tuttavia è possibile implementare anche la modalità System Mode.

Per la messa in servizio degli apparecchi vi sono diverse soluzioni:

- In push button mode gli apparecchi che devono funzionare insieme, ad esempio un sensore ed un attuatore, vengono dapprima posti in modalità di messa in servizio. A questo punto viene inviato un telegramma di collegamento. Un eventuale microinterruttore (DIP-switch) sul sensore permette di selezionare la funzione da svolgere.
- In controller mode si utilizza un configuratore portatile dotato di display e menù guidato per la definizione dei collegamenti logici.

C'è da attendersi un notevole sviluppo della tecnologia RF nei prossimi anni, non va infatti dimenticato che ogni anno le nuove costruzioni rappresentano solo una piccola percentuale del patrimonio immobiliare complessivo e le esigenze degli interventi di ristrutturazione possono essere meglio soddisfatte da un sistema RF che richiede un'installazione semplificata.

1.3.3.4 L’IMPIANTO KNX ETHERNET/IP

Nell’automazione dei grandi edifici si è manifestata da tempo la necessità di coprire grandi distanze o di mettere in comunicazione, con un PC di visualizzazione, un numero elevato di apparecchi. Apparecchi che possono essere installati in parti di edificio fisicamente separate o addirittura installati in edifici distinti. A questo scopo è stato anche definito il protocollo KNXnet/IP, che fa già parte dello standard KNX e da alcuni anni sono disponibili apparecchi di interfaccia e router che permettono di utilizzare la rete Ethernet come dorsale ad alta velocità (a 10 o 100 Mbit/s) per lo scambio di messaggi KNX contenuti all’interno di frame IP.

Il passo successivo è lo sviluppo di apparecchi KNX che comunichino direttamente su Ethernet/IP. Alcune applicazioni ne possono trarre grandi vantaggi: dispositivi sviluppati appositamente per Ethernet possono offrire caratteristiche molto richieste come l’integrazione di un web server o di singoli servizi web. Apparecchi di questo tipo possono inviare e-mail o messaggi SMS ed un qualunque browser web può accedere direttamente a pagine HTML memorizzate nell’apparecchio.

Oggi lo svantaggio di questa tecnologia è racchiusa negli elevati costi per collegare ogni dispositivo bus con un cavo di rete.

CAPITOLO 2

2

NUOVA PIATTAFORMA PROPOSTA: LA TECNOLOGIA

Si vuole sottolineare che tutto il materiale (documenti, figure, prototipi, ecc.) relativo a questo nuovo approccio, è stato gentilmente fornito, grazie al Progetto “Smart Mesh Building” in corso presso il Laboratorio di Comunicazione Industriale del Dipartimento di Elettrotecnica, dal Project Leader Ing. Stefano Maggi.

2.1 ZIGBEE: PROTOCOLLO WIRELESS EMERGENTE

La tecnologia ZigBee rappresenta un protocollo per reti wireless indirizzata ad ampie aree di applicazioni fra le quali la domotica (Home and Building Automation), la telegestione, l'infomobilità, l'automazione industriale, il risparmio energetico, ecc.

Non si è certi sull'origine del suo nome, ma alcuni sostengono che derivi dal movimento a zig-zag compiuto dalle api che, passando di fiore in fiore, trasmettono alle altre l'informazione su dove trovare cibo.

Per un'applicazione in domotica, questa tecnologia può coinvolgere per esempio le seguenti principali funzioni illustrate schematicamente in figura 2.1.

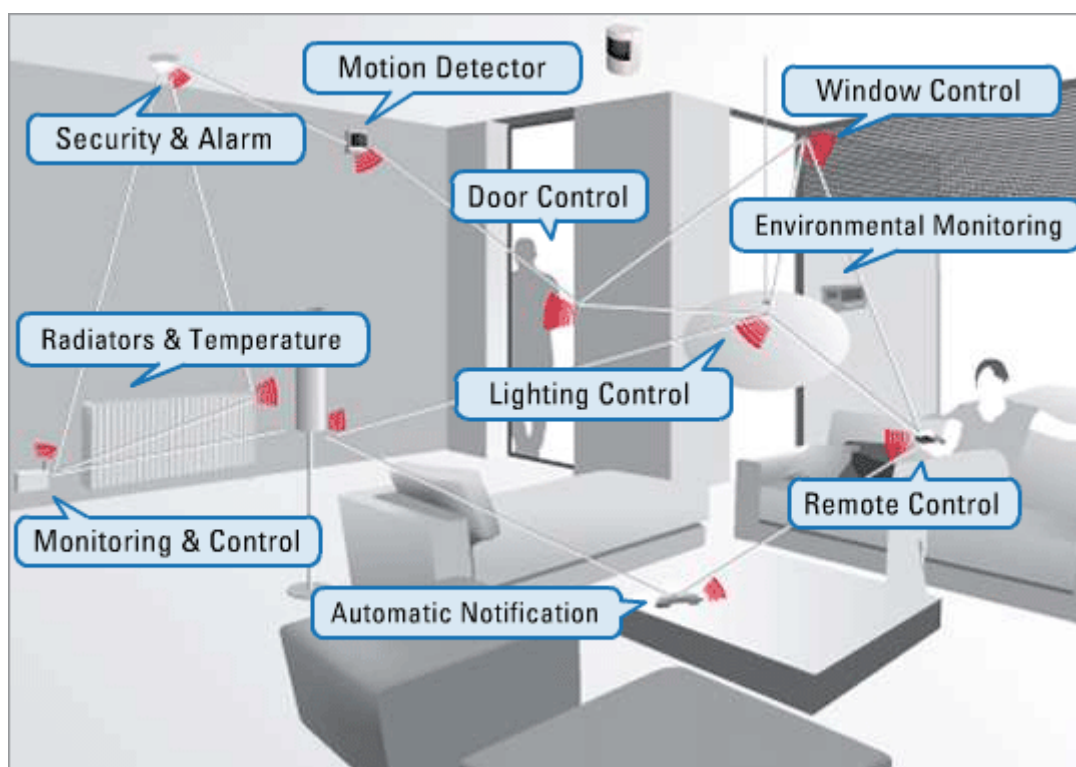



Fig. 2.1: Principali funzioni coinvolte in Domotica.

2.2 INTRODUZIONE ALLE WPAN (WIRELESS PERSONAL AREA NETWORK)

Le reti wireless sono la naturale evoluzione di quelle wired ed hanno visto il loro sviluppo a partire dalla metà degli anni ottanta con le cosiddette WLAN (Wireless Local Area Network).

Con lo sviluppo dei dispositivi mobili di differente tipologia si è manifestata poi, la necessità di realizzare reti che siano "concentrate" attorno alla persona e quindi si estendano per pochi metri in tutte le direzioni.

Tali reti si chiamano WPAN (Wireless Personal Area Network) e sono regolate dallo standard IEEE 802.15.

In particolare sono definiti tre differenti classi di WPAN, sulla base della velocità di trasmissione, del consumo di energia e della qualità del servizio (QoS):

I. WPAN con data-rate elevato (IEEE 802.15.3), indicate per applicazioni multimediali che richiedono un elevato QoS.
II. WPAN con data-rate intermedio (IEEE 802.15.1/Bluetooth), indicate per una gran varietà di compiti tra cui telefonini e cellulari, PDA ed in generale applicazioni adatte per comunicazioni vocali (es. auricolari per telefonini).
III. WPAN con data-rate basso (IEEE 802.15.4/LR-WPAN), particolarmente indicato in campo industriale, home automation, medicale ed in generale per tutte quelle applicazioni che necessitano di un basso costo, di un basso consumo di potenza e di una velocità di trasmissione non elevata. È in quest'ultima categoria che rientra lo standard ZigBee.

2.3 ZIGBEE ALLIANCE E IEEE 802.15.4

Questo particolare tipo di WPAN nasce dallo sforzo congiunto di IEEE e della ZigBee Alliance.
Quest'ultima è un consorzio di oltre 80 società (sempre in aumento) il cui obiettivo è quello di assicurare a breve, la diffusione di ZigBee in un ampio settore del mercato wireless.
La speranza dei promotori di ZigBee è di realizzare chips sempre più integrati e conseguentemente più economici, che siano in grado di implementare l'intero protocollo.
Chiaramente la sfida non è semplice, poiché si tratta di un mercato in gran parte saturato da tecnologie come Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth, UWB e WirelessUSB.
I dispositivi ZigBee sono in grado di trasmettere fino a una distanza di circa 70m in aria libera e a circa 30m all'interno di edifici, a seconda delle interferenze RF dell'ambiente in cui si trovano e del consumo di potenza richiesto dall'applicazione.
Essi operano all'interno della banda di frequenze libere senza licenza (ISM 2.4GHz, UHF 915MHz negli Stati Uniti e UHF 868MHz in Europa).
La velocità di trasferimento dei dati è variabile in base alla frequenza e varia da un minimo di 20kbit/s (@868MHz) ad un massimo di 250kbit/s (@2.4GHz).
Il lavoro della task force ZigBee Alliance e IEEE è consistito nella definizione dell'intero stack; in particolare, l'IEEE ha sviluppato i due layer più bassi del protocollo (fisico e MAC), mentre l'alleanza ha definito i layer superiori, cioè quello di rete e di applicazione, in maniera tale da garantire l'interoperabilità tra i prodotti di diverse case costruttrici (definizione dei profili).

La seguente figura 2.2 propone i vari layer dello stack ZigBee.

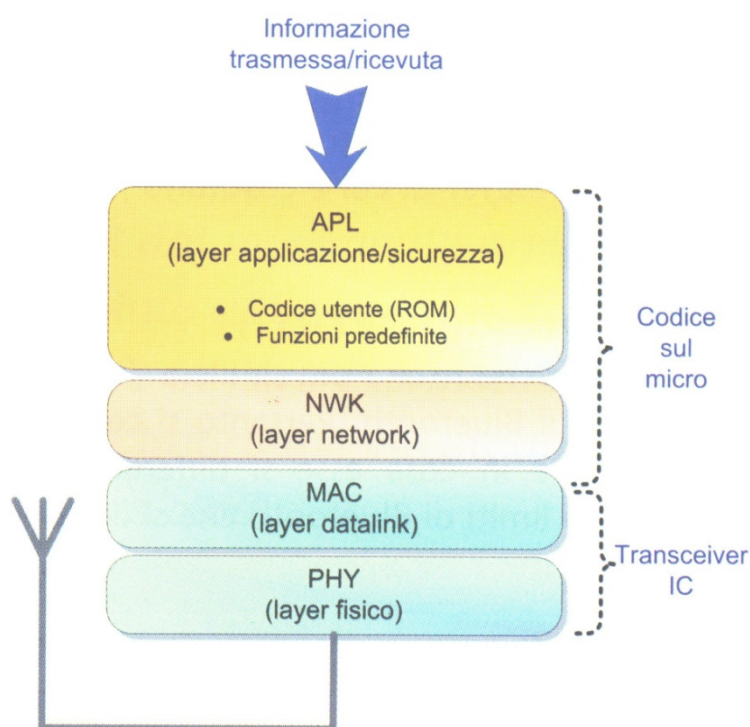



Fig. 2.2: Stack IEEE 802.15.4/ZigBee.

2.4 IL PROTOCOLLO IEEE 802.15.4 E ZIGBEE

2.4.1 DESCRIZIONE

Lo standard IEEE 802.15.4 viene approvato nell'estate del 2003 e definisce il protocollo di trasmissione a basso livello tramite comunicazione radio, tra diversi dispositivi rientranti in una "Personal Area Network" (PAN).
Le WPAN (Wireless PAN) vengono utilizzate per distribuire informazione su distanze relativamente brevi e senza cavi di collegamento; le connessioni effettuate attraverso le WPAN riguardano piccoli ambienti ed infrastrutture, il

che favorisce lo sviluppo di soluzioni poco costose ed energeticamente efficienti per un'ampia gamma di applicazioni.
Lo standard definisce, più in particolare, le specifiche del livello fisico (PHY) e datalink (MAC) al fine di garantire una modalità di connessione wireless a basso data rate tra dispositivi fissi, portatili o mobili che necessitano di un basso consumo di potenza, ovvero lunga durata delle batterie a bordo e che tipicamente lavorano in uno spazio operativo (POS: Personal Operating Space) dell'ordine di qualche decina di metri.
Il data rate deve essere sufficientemente elevato in modo da consentire la connettività di periferiche interattive largamente diffuse, come ad esempio quelle per PC, ma nel contempo vi deve essere anche la possibilità di ridurlo fino ai livelli tipici richiesti da sensori ed applicazioni orientate al controllo ed all'automazione delle infrastrutture.
Si perviene quindi, ad una LR-WPAN (Low Rate WPAN), ovvero una rete di comunicazione semplice e a basso costo selettivamente orientata verso applicazioni a basso consumo ed a "throughput" (quantità di informazione trasmessa) non elevato, principalmente caratterizzata da:

- Data rate di 250kbit/s, 40kbit/s e 20kbit/s;
- Operabilità in configurazione a stella o "peer-to-peer";
- 16 bit o 64 bit di indirizzo allocati;
- Accesso al canale in modalità CSMA-CA;
- Completa definizione del protocollo per trasferimento dei dati;
- Basso consumo di energia;
- Indicazione della qualità del canale;
- 16 canali nella banda attorno a 2.4GHz, 10 canali nella banda attorno a 915MHz, un canale ad 868MHz.

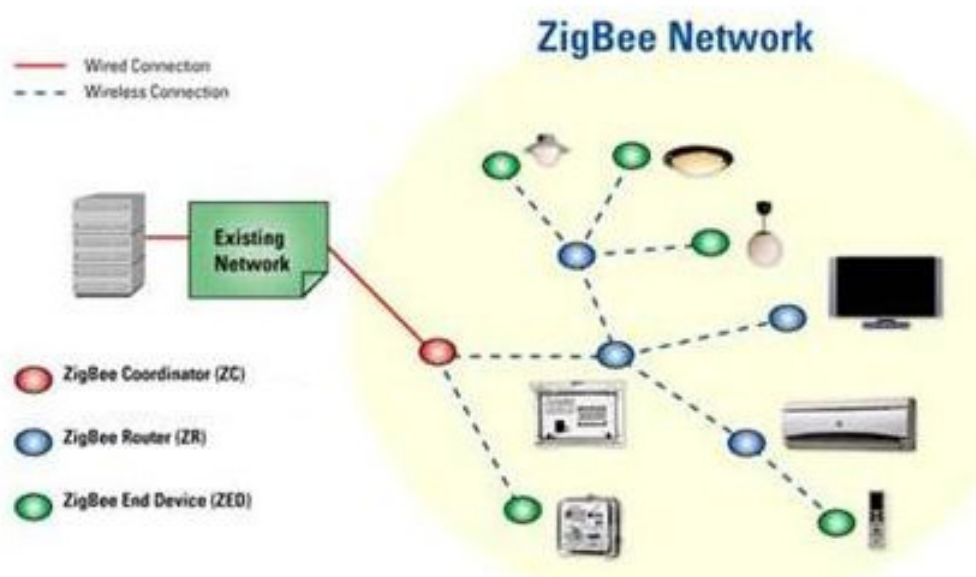



Fig. 2.3: Dispositivi di una rete ZigBee.

2.4.2 TOPOLOGIE DI RETE

Una LR-WPAN può includere due diversi tipi di dispositivi: FFD (Full Function Device) e RFD (Reduced Function Device).
Un dispositivo del primo tipo può operare all'interno della rete secondo tre modalità: funzionando da coordinatore della rete, da coordinatore semplice o da terminale di comunicazione.
Un dispositivo FFD (Coordinator e Router) può dialogare con altri dispositivi di entrambe le categorie, mentre un RFD (EndDevice) può comunicare direttamente solo con un FFD (figura 2.3).
L'inclusione di terminali RFD all'interno della rete è orientata per applicazioni estremamente semplici, come interruttori di luce o sensori ad infrarossi, che non necessitano dell'invio di grosse quantità di dati e possono quindi, essere supportate attraverso minime risorse energetiche e limitate capacità di memoria.

Una WPAN è costituita da un minimo di due dispositivi operanti in una stessa POS; in ciascuna rete, uno solo di essi può configurarsi come “PAN Coordinator” che si occupa di iniziare, gestire e terminare la comunicazione tra le diverse periferiche.

A seconda della particolare applicazione, una LR-WPAN può configurarsi in varie topologie illustrate brevemente in figura 2.4.

In ogni caso, ciascun dispositivo interno alla rete possiede un indirizzo esteso a 64 bit; tale indirizzo può essere direttamente utilizzato per la comunicazione oppure, in alternativa, si utilizza un indirizzo ridotto, attribuito dal PAN coordinator ogni volta che il dispositivo viene da esso rilevato.

Nella topologia a stella, ciascun dispositivo può comunicare solo con il coordinatore.

Quest’ultimo quindi, controlla e gestisce ogni tipo di comunicazione all’interno della PAN ed è tipicamente collegato ad alimentazione fissa, mentre gli altri dispositivi sono dotati di batteria a bordo oppure alimentati da fonti energetiche innovative (mini pannelli solari, sistemi piezoelettrici, ecc.).

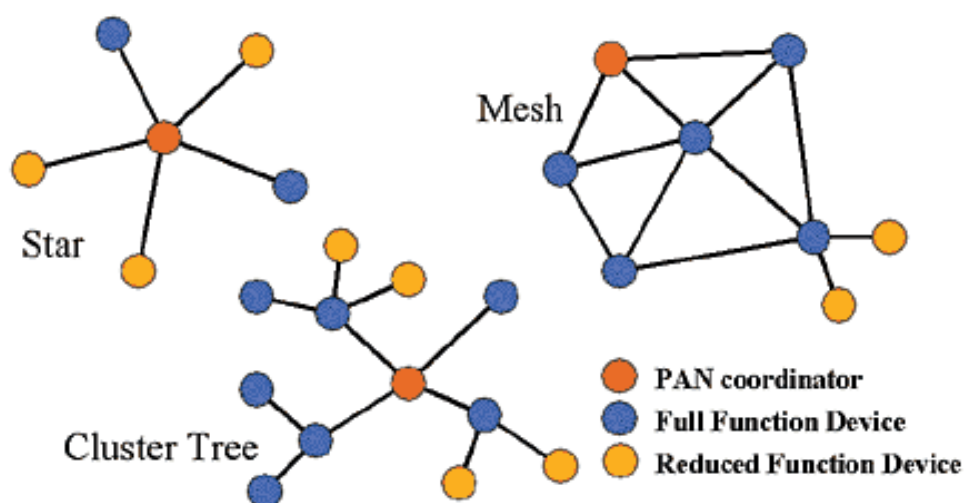



Fig. 2.4: Principali topologie di rete previste dallo standard IEEE 802.15.4.

Una topologia “peer to peer” invece, differisce dalla precedente in quanto ciascun dispositivo può comunicare direttamente con un altro interno alla rete, a patto che questo rientri nella sua area operativa di copertura, senza ricorrere alla mediazione del coordinatore.
Una tale topologia quindi, si presta alla formazione di reti di comunicazione decisamente complesse che coinvolgono potenzialmente un elevato numero di dispositivi: essa è tipicamente rivolta ad applicazioni come il controllo e il monitoraggio industriale ed ambientale, attraverso reti di sensori wireless, in aggiunta all’utilizzo in domotica.
La modalità di formazione di una PAN rientra nel livello di rete (network layer), per cui non è argomento trattato nello standard in questione, tuttavia vengono riportate indicazioni di carattere generale a questo proposito.
Nella formazione di una rete a stella ogni dispositivo FFD, dopo essersi attivato, può creare una propria rete diventandone un coordinatore “locale”.
Tutte le reti a stella operano indipendentemente dalle reti simultaneamente attive, in quanto ciascuna di esse è contraddistinta da un identificatore PAN scelto dal coordinatore, in maniera tale da evitare conflitti con reti già precedentemente stabilite entro il proprio spazio operativo.
Una volta scelto l’identificatore, il coordinatore può annettere alla propria PAN altri dispositivi, siano essi di tipo FFD o RFD.
In una rete “peer to peer” invece, ogni dispositivo può configurarsi come PAN semplicemente per essere il primo a comunicare su uno stesso canale.
Un esempio di rete complessa fondata su una topologia “peer to peer” è il “cluster-tree” (figura 2.4).
Ogni dispositivo della rete può in questo caso funzionare da coordinatore, fornendo servizi ad altri dispositivi o coordinatori, anche al di fuori della propria sfera di influenza.

Però soltanto uno di questi coordinatori "locali" può configurarsi come coordinatore PAN, il quale è tipicamente dotato di maggiori risorse anche a livello computazionale.
Attraverso diversi nodi coordinatori (di questo tipo) risultano potenzialmente configurabili delle reti a struttura "multi-cluster", il cui principale vantaggio è legato alla maggiore estensione della superficie coperta e quindi al maggior numero di nodi interagenti.
Le caratteristiche di auto-configurabilità e di interoperabilità, permettono alla rete di modificarsi al variare delle condizioni operative e di auto configurarsi, scegliendo dinamicamente i nodi e gestendone la connettività, a seconda dell'ambiente applicativo.
L'utilizzo di tecnologie magliate permette di massimizzare l'affidabilità complessiva della rete, garantendo la possibilità di instradare l'informazione su percorsi diversi.
Inoltre, come già citato, attraverso il processo di trasferimento dell'informazione "hop-by-hop" tra i nodi, è possibile arrivare ad una estesa copertura del territorio, anche avendo a disposizione singoli collegamenti a portata limitata.

2.4.3 LIVELLO FISICO (PHY)

Alla base della pila del protocollo ZigBee, si trova il layer fisico (PHY), il quale fornisce due differenti servizi: quello dati e quello gestione.
Le caratteristiche principali implementate a questo livello sono l'attivazione e la disattivazione del trasmettitore radio, il rilevamento dell'energia (ED), l'indicazione della qualità del collegamento (LQI), la selezione del canale, la

stima della disponibilità del canale (CCA) e la trasmissione e ricezione dei pacchetti sul mezzo fisico (canale radio).

Lo standard offre due possibilità per la trasmissione/ricezione basate su differenti frequenze. Entrambi i metodi sfruttano la tecnica di modulazione di DSSS (Direct Sequenze Spread Spectrum). La velocità di trasmissione è di 250kbit/s a 2.4GHz, 40kbit/s a 915MHz e 20kbit/s a 868MHz.

Il tasso di trasmissione dati maggiore è da attribuirsi all'ordine dello schema di modulazione superiore. Frequenze più basse assicurano, invece, un range ed una sensibilità maggiore grazie alla minore attenuazione. Frequenze più alte garantiscono una velocità maggiore ed una latenza e duty-cycle minore.

Nel range di frequenza tra 868÷868.3MHz esiste un solo canale, mentre ci sono 10 canali tra i 902.0MHz e 928.0MHz, infine tra le frequenze 2.4GHz e 2.4835GHz si trovano ben 16 canali (figura 2.5).

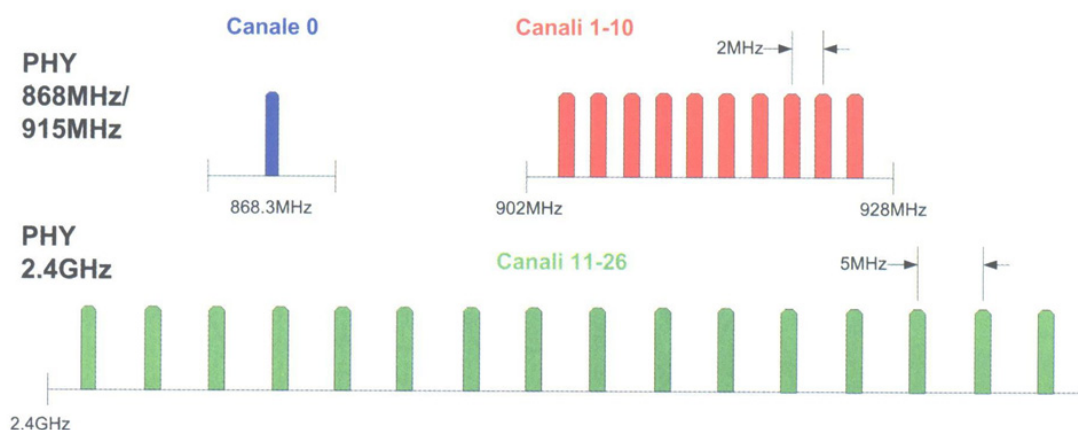



Fig. 2.5: Bande di frequenze operative.

Lo standard IEEE 802.15.4 supporta la possibilità di selezionare dinamicamente il canale tramite una funzione di scansione che permette di cercare il frame di beacon (sincronizzazione) in una lista di canali utili.
La maggiore sensibilità del ricevitore nella banda di frequenze più bassa è dovuta al minore data rate.
Il range operativo di ogni dispositivo dipende oltre che dalla sensibilità, anche dalla potenza in trasmissione.
Con la modulazione DSSS un gruppo di bit è rappresentato mediante un unico simbolo; in particolare nello standard in questione il gruppo è formato da 4 bit (detto nibble).
Poiché con 4 bit le possibili combinazioni sono 16 (=2^4), esistono quindi 16 differenti simboli all'interno di una tabella numerata da 0 a 15, in cui a ciascun simbolo corrisponde una sequenza di 32 bit, detta chipping code.
La figura 2.6 illustra tale processo usando il chipping code per il simbolo 0.

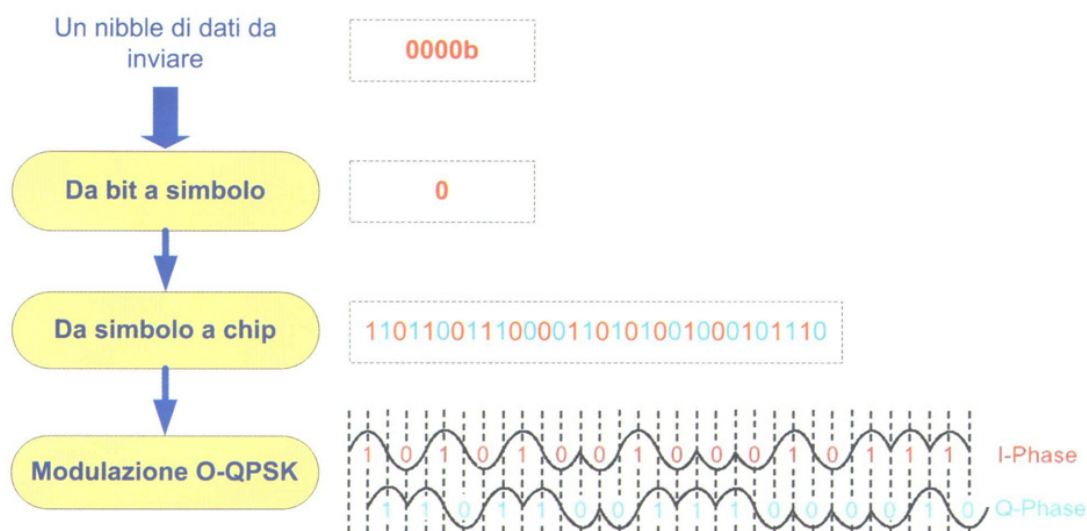



Fig. 2.6: Esempio processo di modulazione DSSS.

Ciascun simbolo consiste, dopo tale processo, di 32 bit detti chips e questo comporta un notevole aumento nella frequenza del segnale, “spalmando” lo spettro del segnale iniziale su un ampio range di frequenza (concetto di modulazione DSSS).

Dopo alcune operazioni di filtraggio per limitare la banda, i chips sono portati al modulatore. Per la trasmissione nella banda di frequenze superiore, il modulatore trasmette con un chipping rate pari a 2Mchip/s e poichè vengono inviati 32 chips per ogni 4 bit di dati reali, il data rate effettivo è dato dalla seguente formula:

$$2 \cdot 10^6 \cdot \frac{4}{32} = 250\text{kbit/s}$$

Oltre alle operazioni brevemente descritte, un dispositivo che implementa il PHY deve essere capace di svolgere altri compiti, tra i quali il rivelamento dell’energia del ricevitore (ED).

Si tratta di una caratteristica utilizzata dal layer superiore network (rete) all’interno dell’algoritmo di selezione del canale.

In pratica, l’ED rappresenta una stima del segnale ricevuto e nessun tentativo viene fatto per decodificare i bit ricevuti.

Il tempo di ED è pari alla durata di 8 simboli e il risultato viene riportato in una variabile intera di dimensione 8 bit (da 0x00 a 0xFF).

Un’altra indicazione essenziale effettuata a questo livello è la qualità del segnale (LQI).

Essa può essere effettuata utilizzando il parametro ED, una stima del rapporto segnale/rumore oppure una combinazione di entrambi.

Tale valore è utilizzato nei layers superiori di rete o di applicazione e viene indicato come un valore intero ad 8 bit.

Infine è necessario ricordare un’altra funzione svolta dal PHY, ossia la stima della disponibilità del canale (CCA), indispensabile per implementare gli algoritmi di CSMA-CA per la gestione delle collisioni.

Prima di poter avviare una trasmissione, un dispositivo ZigBee deve accertarsi se un altro sta utilizzando il mezzo radio in quel momento.
Esistono tre possibili soluzioni per implementare tale funzione:

I. Energia oltre la soglia: il CCA riporta l'indicazione di mezzo occupato se il livello di energia ricevuto (ED) supera una prestabilita soglia.
II. Rilevamento della portante: il CCA riporta l'indicazione di mezzo occupato solo se rileva un segnale con le stesse caratteristiche fissate nel protocollo IEEE 802.15.4. Non è importante se tale segnale supera oppure no la soglia di energia.
III. Rilevamento della portante con superamento della soglia: si tratta dei due metodi combinati insieme; viene riportata l'indicazione di mezzo occupato se viene rilevata la portante e la sua energia supera la soglia.

2.4.4 LIVELLO MAC

Coordinamento dell'eccesso al mezzo da parte del transceiver, creazione ed instradamento dei pacchetti, generazione e riconoscimento dell'indirizzo, verifica del numero di sequenza dei pacchetti sono i principali compiti a cui è chiamato ad assolvere il livello MAC.
Esso deve inoltre gestire il processo di rilevamento (Discovery) da parte di un dispositivo, di quelli ad esso vicini.
Il tempo richiesto per far ciò è dell'ordine di 30ms, mentre le tecnologie concorrenti, come Bluetooth, possono impiegare fino a 5-6s prima di poter iniziare ad utilizzare completamente il dispositivo.

Le principali funzioni del livello MAC sono implementate in software a differenza di quanto avviene per il livello fisico (PHY layer) e scritte generalmente in linguaggio C.

Esistono 4 possibili tipi di frame a livello MAC, come illustrato in figura 2.7:

- Frame di dati;
- Frame ACK;
- Frame di comando MAC;
- Frame di beacon.

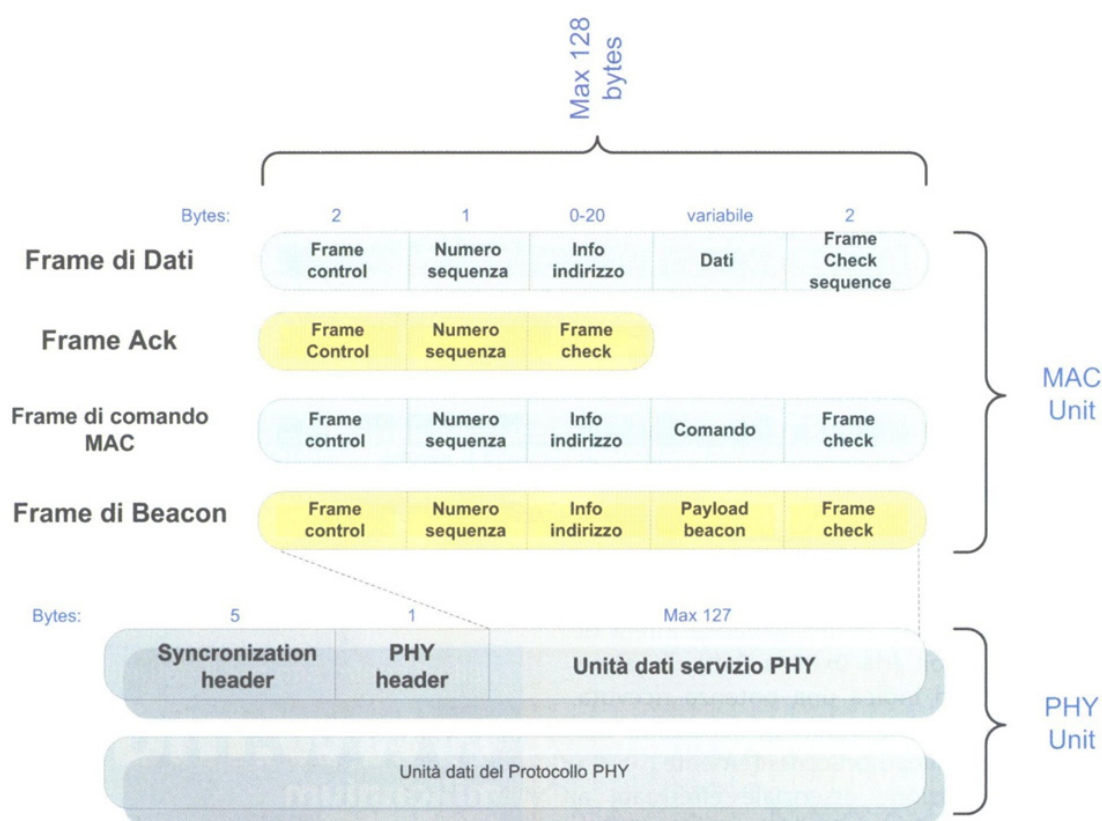



Fig. 2.7: I frame del MAC layer.

Il frame di dati è costituito al massimo da 128 bytes; esso è numerato per assicurare l'instradamento di tutti i pacchetti.

Il campo Frame Check Sequence assicura che tutti i pacchetti siano ricevuti senza errori.
Questo migliora notevolmente l'affidabilità in condizioni sfavorevoli di trasmissione.
Un altro frame molto importante è il frame ACK.
Esso fornisce la conferma che il pacchetto inviato è stato ricevuto correttamente.
Questa soluzione garantisce la consistenza dei dati, ma ovviamente aumenta la latenza.
Il frame di comando MAC fornisce un meccanismo per il controllo e la configurazione remota dei nodi client.
Infine, il frame di beacon ha il compito di "svegliare" i dispositivi client, i quali sono in ascolto del loro indirizzo e vanno in modalità sleep se non lo ricevono.
I beacon (che sono in pratica segnali di sincronismo) sono importanti per le reti a maglia e cluster-tree per mantenere tutti i nodi sincronizzati senza la necessità che essi rimangano in ascolto per luoghi periodi di tempo, consumando così le batterie.
Trattandosi di una trasmissione in cui il mezzo (radio) è condiviso da tutti i dispositivi, è necessario disporre di qualche metodo di arbitraggio della trasmissione, affinché due dispositivi non inviino pacchetti contemporaneamente.
Esistono due tecniche utilizzate: la CSMA-CA ed il beacon.
A differenza di quanto avviene nelle reti LAN su cavo (IEEE 802.3), per le reti wireless è stata adottata la tecnica di accesso multiplo con rilevamento della portante ed eliminazione delle collisioni, CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).
In sostanza, significa che ogni dispositivo prima di iniziare una trasmissione deve ascoltare il mezzo e capire se è già in corso una trasmissione.

Se c'è già un nodo che sta trasmettendo, allora sarà effettuata la ritrasmissione successivamente con un ritardo casuale.

La CSMA-CA viene adottata nelle reti ZigBee semplici di tipo peer-to-peer come per esempio sistemi di sicurezza in cui il dispositivo è in modalità sleep per il 99,99% del tempo.

La seconda tecnica consiste nell'invio dalla parte del coordinatore di un superframe (modalità beacon) ad intervalli regolari di tempo (multipli di 15.38ms, fino a 252s).

Tra un beacon e l'altro ci sono 16 time slot (slot temporali) di pari ampiezza, in ciascuno dei quali è garantita l'assenza di collisione, come illustrato in figura 2.8.

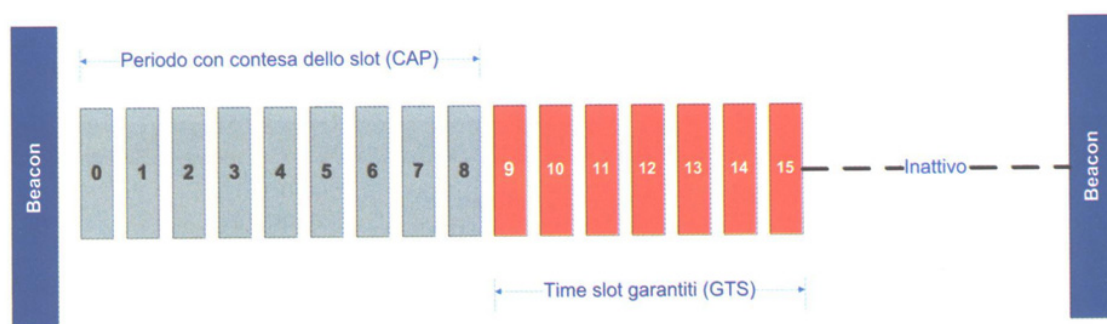



Fig. 2.8: Il superframe: accesso al mezzo in modalità beacon.

Tutti i dispositivi si contendono i primi 9 time slot, mentre gli ultimi slot temporali sono invece assegnati dal coordinatore ad un nodo specifico e sono detti GTS (Guaranteed Time Slot).

Nel caso un nodo debba trasmettere una grande quantità di informazione, il coordinatore può assegnarli anche più di un GTS. Tale struttura garantisce una banda dedicata ed una bassa latenza rispetto alla prima tecnica.

Inoltre consente di ridurre notevolmente il consumo delle batterie, poiché ciascun dispositivo sa esattamente quando trasmettere ed è sicuro che non ci saranno collisioni.

2.4.5 LIVELLO RETE (NETWORK)

Il layer network (NWK) ha il compito di associare e dissociare i dispositivi al coordinatore, implementare la sicurezza ed instradare i frame alla loro destinazione.
Inoltre, l'NWK è responsabile della creazione di una nuova rete e dell'assegnazione di un indirizzo ai nuovi dispositivi associati.
Dal punto di vista del livello rete, i dispositivi ZigBee possono suddividersi in:

- Coordinatore (ZC): è unico per ogni rete; ha il compito di formare la rete ed agisce come router una volta che la rete si è costituita.
- Router (ZR): si tratta di un componente opzionale e si può associare con lo ZC oppure con altri ZR; ha il compito di instradare i messaggi.
- EndDevice (ZED): si tratta di un componente opzionale e non partecipa al routing dei messaggi.

Il procedimento con cui vengono stradati i pacchetti attraverso i vari router è basato su una tabella di routing contenuta all'interno dei ZR.
Quando arriva un pacchetto, viene estratto l'indirizzo di destinazione e se presente all'interno della tabella di routing, allora si effettua il prelievo dell'indirizzo successivo.

Come si nota in figura 2.9 (in alto), la formazione di una nuova rete da parte di un coordinatore è originata con una richiesta dal layer applicazione ed è poi gestita a livello network e MAC.
In basso in figura, si mostra invece la richiesta di un nodo ZigBee di “legarsi” ad una rete.

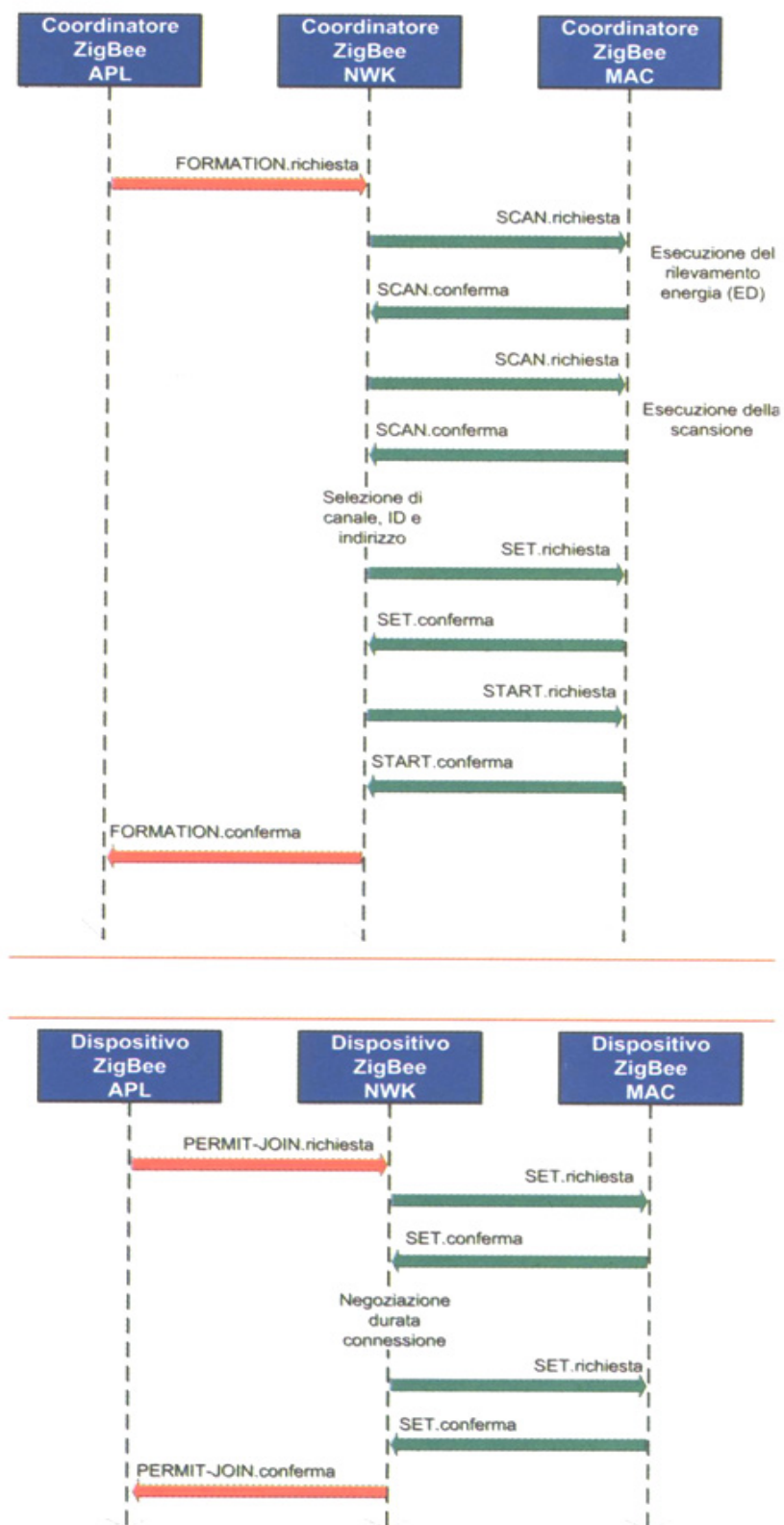



Fig. 2.9: In alto, formazione di una rete da parte del Coordinatore. In basso, richiesta di unione da parte di un nodo.

2.4.6 LIVELLO APPLICAZIONE

Il layer applicazione è costituito dai driver e dal codice, contenuti nella ROM del microcontrollore.
Schematicamente di un nodo ZigBee si possono evidenziare, oltre al blocco relativo all'alimentazione, anche quelli inerenti il transceiver, l'antenna, il microcontrollore e l'interfaccia utente (rappresentata da Input/Output).
Il transceiver implementa il layer fisico, ossia si occupa della modulazione del segnale come descritto in precedenza.
All'interno della ROM del microcontrollore è presente l'implementazione del livello MAC, NWK e applicazione.

2.5 SICUREZZA ED AFFIDABILITA'

Uno dei principali vantaggi di ZigBee rispetto ad altre tecnologie wireless di prossimità, è l'elevato livello di sicurezza che viene supportata a livello di collegamento fra 2 nodi di rete, ma anche a livello rete ed applicativo.
I servizi di sicurezza forniti da ZigBee includono meccanismi e protocolli per la generazione ed il trasporto sicuro delle chiavi, per la protezione dei frame e per la gestione dei dispositivi.
In particolare la protezione dei dati è garantita da algoritmi di crittografia avanzati (AES a 128bit) e da meccanismi di integrità e di autenticazione per la protezione da eventuali attacchi provenienti da dispositivi non autorizzati che tentano di accedere alla rete o al contenuto informativo trasmesso.
E' definito anche un concetto di "Trust Center" per la gestione centralizzata della sicurezza, a livello di politiche e di aggiornamento delle chiavi.

Secondo lo standard, un nodo ZigBee può operare sia in modalità sicura che non sicura. Ovviamente, non implementando la sicurezza dei dati si ottiene un codice più leggero.

Sono previsti 4 differenti servizi di sicurezza:

I. Controllo degli accessi. Ogni dispositivo deve mantenere una lista di tutti i potenziali trasmettitori. In questo modo un dispositivo non autorizzato non può accedere ad una rete ZigBee.

II. Codifica dei dati. I dati non sono trasmessi in “chiaro”, ma codificati mediante una chiave di crittografia posseduta solo dai componenti di rete.

III. Rinnovo sequenziale. Ogni frame viene confrontato con il precedente per evitare che ci siano ripetizioni.

IV. Integrità dei frame. Sui bit di tutto il frame viene calcolato un check, tramite il quale è possibile risalire a modifiche del frame da parte di nodi non autorizzati.

CAPITOLO 3

3
PROGETTO SMART MESH BUILDING (HAN: HOME AREA NETWORK)

Si vuole sottolineare che tutto il materiale (documenti, figure, prototipi, ecc.) relativo a questo nuovo approccio, è stato gentilmente fornito, grazie al Progetto “Smart Mesh Building” in corso presso il Laboratorio di Comunicazione Industriale del Dipartimento di Elettrotecnica, dal Project Leader Ing. Stefano Maggi.

3.1 GENERALITA’

Con Smart Mesh Building (SMB) nasce un nuovo modello di comunicazione, una rete fatta di oggetti in grado di comunicare senza fili tra loro.

SMB propone kit modulari integrabili (costituiti da hardware miniaturizzato “ad hoc”) per una gestione flessibile e moderna del proprio impianto elettrico e dei dispositivi connessi.
Il sistema SMB utilizza una wireless mesh network per la gestione di tutti i dispositivi (luci, prese, elettrodomestici, termostati, caldaia, azionamenti, sensori, ecc.) presenti nelle abitazioni o negli uffici (figura 3.1).
Con SMB il panorama applicativo e le opportunità di business si arricchiscono ulteriormente, aggiungendo agli oggetti la capacità di scambiarsi informazioni reciprocamente.
Essi sono quindi in grado di recepire il mondo che li circonda e comunicarlo ad altri, utilizzando una connessione wireless.

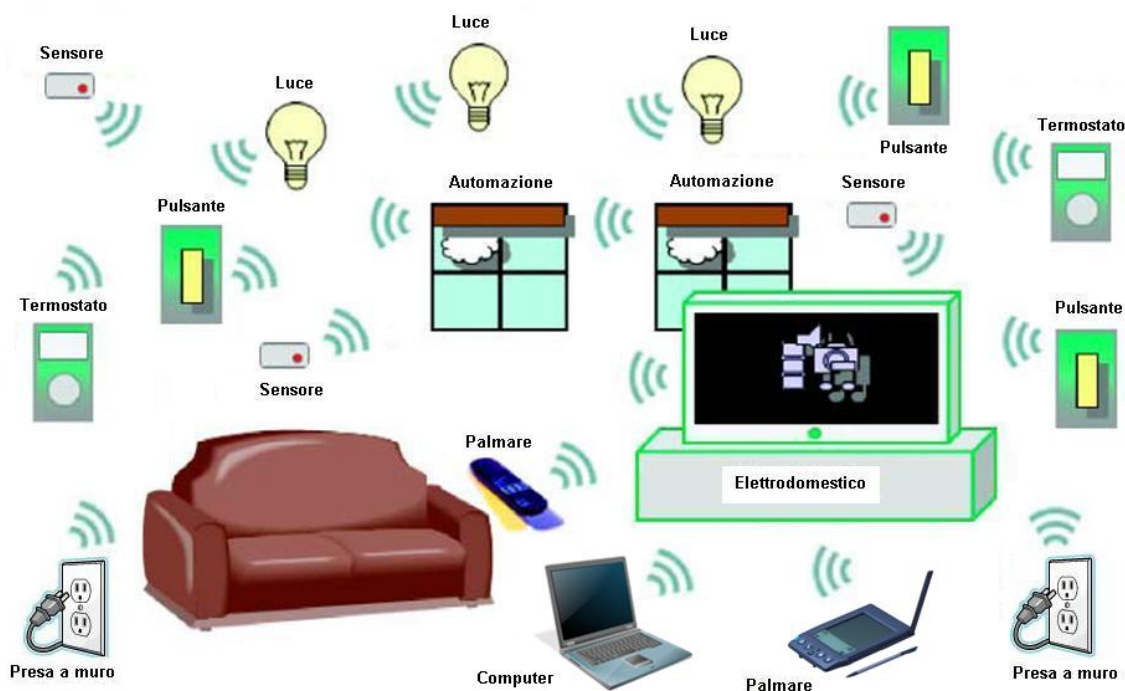



Fig. 3.1: Sistema wireless a mesh per la gestione di tutti i dispositivi presenti in edifici, abitazioni o uffici.

SMB realizza una perfetta sintonia tra “High-Tech” e “Lifestyle”, un sistema wireless a mesh ad alta tecnologia e raffinato design.

Grazie a SMB l'impianto elettrico di casa/ufficio o la domotica diventano non solo wireless, ma anche un sistema modulare "a stile di vita", l'accessorio di lusso si propone come un insieme di soluzioni disponibili a tutti, sempre più semplici e veloci nell'installazione e nel funzionamento.

SMB attraverso la propria tecnologia, progetta e sviluppa i prototipi dei moduli (figura 3.2, venduti successivamente in kit modulari) in funzione alle seguenti linee guida:

- Esigenze del cliente;
- Risparmio economico e risparmio energetico del cliente;
- Semplicità, flessibilità ed integrazione.

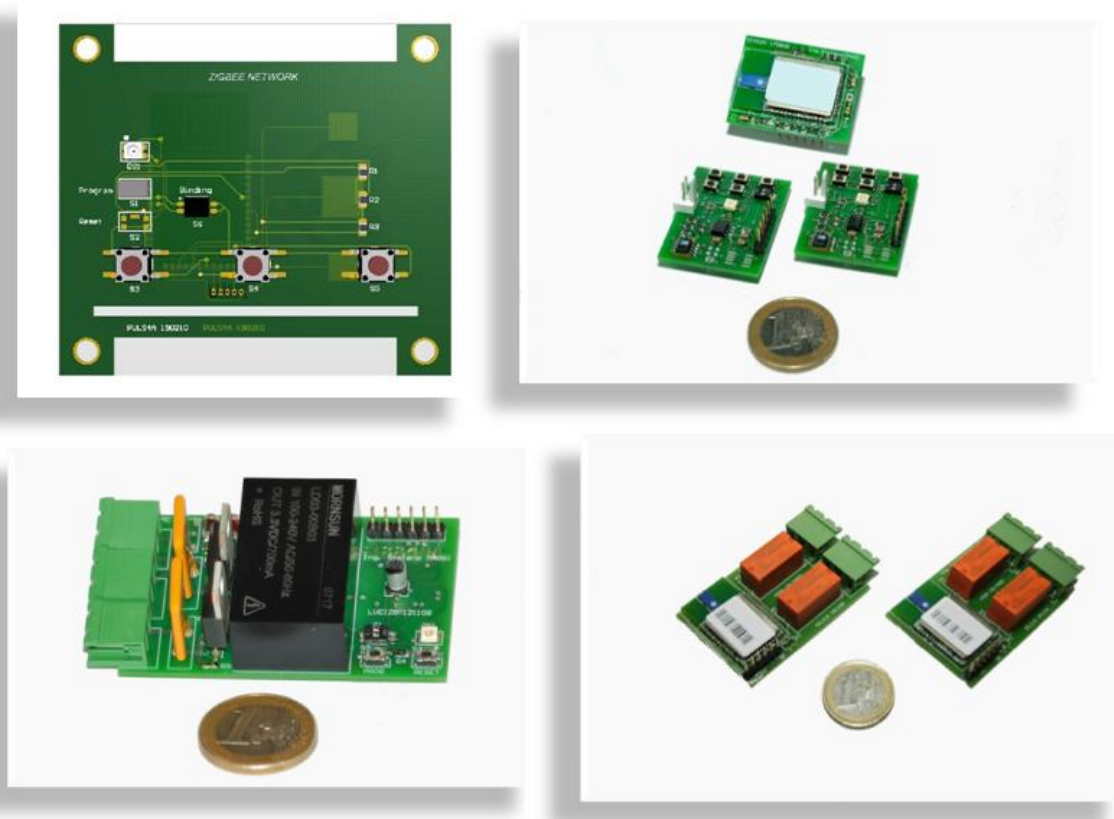



Fig. 3.2: Foto reali di alcuni prototipi di moduli realizzati già "pronti" per l'installazione finale.

Smart Mesh Building, come indica anche il nome stesso, si basa, per la gestione di dispositivi e di impianti elettrici, su una rete wireless a mesh, creata dagli stessi moduli (nodi) di volta in volta installati.
In questo caso la copertura è assicurata dalla mesh creata e non più dalla distanza fra 2 nodi (trasmettitore-ricevitore), secondo la "vecchia" concezione punto-a-punto.
Ogni nodo (modulo) di questa rete wireless è a bassissimo consumo di energia e a bassissima potenza effettiva irradiata, quindi ad impatto praticamente nullo sul corpo umano (circa 2mW, contro i circa 100mW che normalmente assorbiamo quando parliamo al cellulare).

3.2 STRUTTURA DEL SISTEMA SMART MESH BUILDING

Il sistema Smart Mesh Building è semplicemente costituito da un kit base (unico e indispensabile), sul quale si "appoggiano" gli altri kit fino ad ora sviluppati, svolgendo nello specifico le funzionalità indicate (nome kit) (figura 3.3).
Il numero dei kit aggregabili a quello base, possono essere singoli o multipli dello stesso tipo (esempio: kit base + 4 kit luce) oppure singoli o multipli di tipi diversi (esempio: kit base + 2 kit luce + 3 kit gestione azionamenti + 1 kit termostato), lasciando una scelta totalmente libera secondo le esigenze del cliente finale.

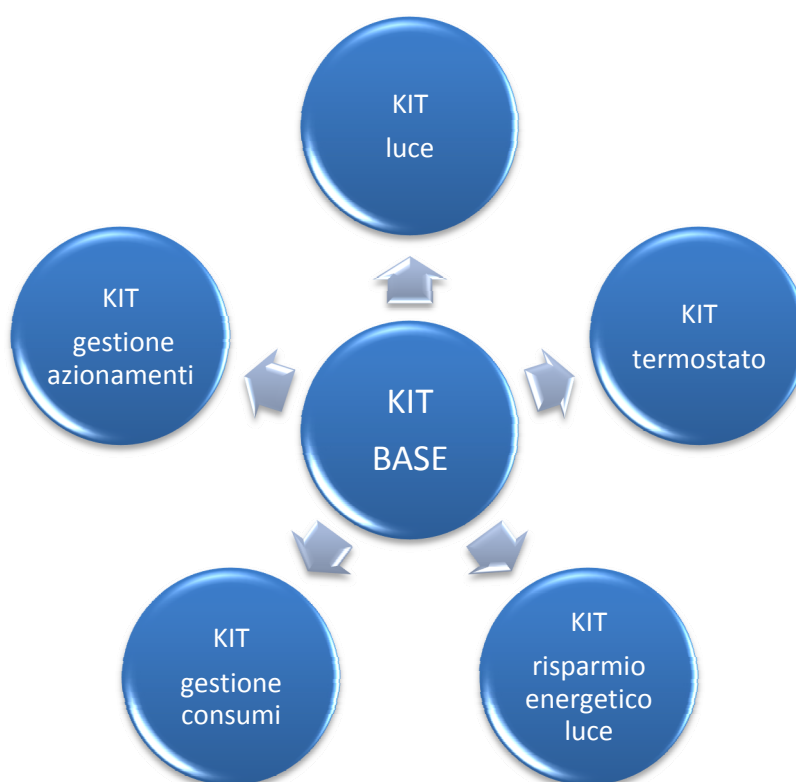



Fig. 3.3: Struttura modulare a kit del sistema Smart Mesh Building.

Il numero massimo dei kit aggregabili a quello base, può raggiungere oggi 50 kit.

3.3 DESCRIZIONE DEI KIT

I kit non rappresentano i nodi del sistema, ma realizzano la completa funzionalità che il cliente finale desidera avere nella propria abitazione o ufficio.
All'interno dei kit si trova quindi tutto il necessario per realizzare subito e senza la necessità di installatori semplici o qualificati, la funzionalità desiderata, indicata brevemente nel nome kit.

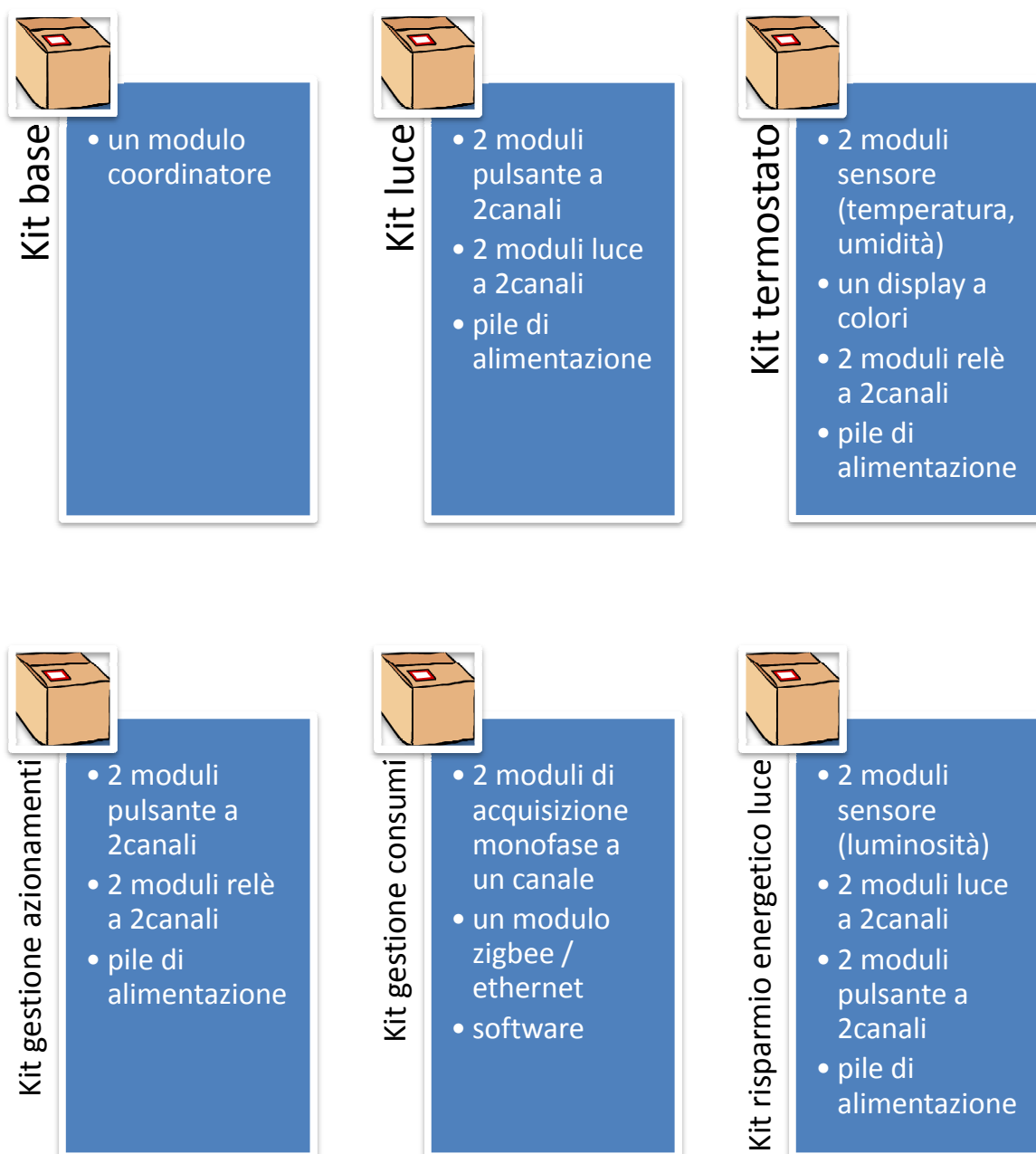



Fig. 3.4: Kit del sistema Smart Mesh Building e il relativo contenuto.

Per esempio, il kit luce (il cui contenuto è indicato in figura 3.4), contiene tutto il necessario per gestire (con funzionalità on-off e dimmer) al massimo

4 luci indipendenti (di max 100W l'una) da 4 punti di comando (interruttore) indipendenti.
Mentre i punti luce sono prescelti (caso nuove costruzioni) o prefissati (caso costruzioni esistenti), i punti di comando possono essere dislocati, all'interno della propria abitazione/ufficio, direttamente dal cliente finale in base alle proprie esigenze.
Infine, anche la relativa associazione "interruttore-luce" può essere scelta (ed eventualmente modificata in futuro) sempre in base alle necessità di chi utilizza l'abitazione/ufficio.

3.3.1 FUNZIONI DEI KIT

Grazie a Smart Mesh Building l'impianto elettrico (di casa o ufficio) diventa "modulare", realizzabile e configurabile anche dall'utente finale in qualsiasi momento, attraverso una rete di oggetti (moduli miniaturizzati) in grado di comunicare senza fili fra loro, grazie alla formazione di una wireless mesh network, creata dagli oggetti stessi.
Tutti i kit sono integrabili fra loro e interfacciabili sia a computers, sia a dispositivi mobili (portatili, palmari, iPhone, iPad, ecc.).
In seguito viene analizzata, per ogni singolo kit, la loro funzione più in dettaglio.

3.3.1.1 KIT BASE

È sostanzialmente rappresentato dal modulo hardware coordinatore (unico e indispensabile) che appunto coordina e gestisce ogni singolo altro modulo presente nell'intero sistema/impianto.
Con la semplice alimentazione del modulo esso viene attivato, procedendo all'avvio della rete.
La sua posizione spaziale nell'impianto, può essere dovunque: all'interno di una scatola da incasso a parete, appoggiato su una superficie qualsiasi di casa, appeso al muro "tipo quadretto" (grazie alle sue ridotte dimensioni, l'area occupata è simile a quella di una carta di credito), praticamente può essere quindi posizionato ovunque, senza vincoli.
In funzione della posizione più comoda scelta, è stata prevista una differente alimentazione del modulo: direttamente all'impianto di potenza (230V) oppure attraverso pile standard, la cui durata dipende ovviamente dal tempo di utilizzo del sistema (considerando un utilizzo "normale" è stata calcolata in circa 3 anni).

3.3.1.2 KIT LUCE

Il kit luce, come già accennato, gestisce (con funzionalità on-off e dimmer) al massimo 4 luci indipendenti (di max 100W l'una) da 4 punti di comando (interruttore) indipendenti (figura 3.4).
Mentre i punti luce sono prescelti (caso nuove costruzioni) o prefissati (caso costruzioni esistenti), i punti di comando possono essere dislocati, in qualsiasi momento, all'interno della propria abitazione/ufficio, direttamente dal cliente finale in base alle proprie esigenze (figura 3.5).

Una pressione continua sul pulsante del modulo fornito, permette di variare l'intensità luminosa del punto luce associato (o dei punti luce associati).

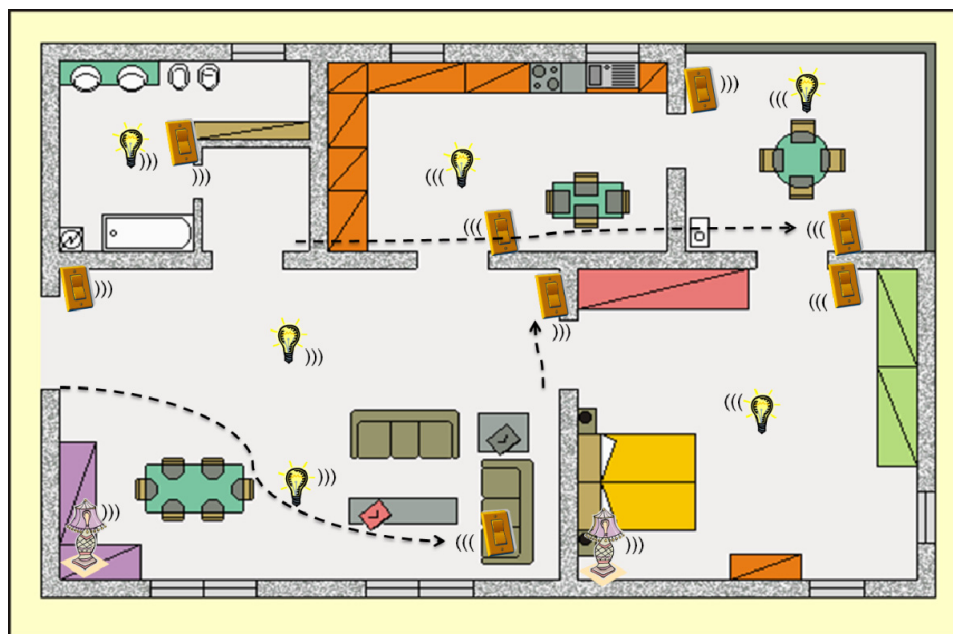



Fig. 3.5: Mobilità totalmente libera relativa al posizionamento dei punti di comando della propria abitazione.

Anche la relativa associazione "comando-luce" può essere scelta (ed eventualmente modificata in futuro) sempre in base alle necessità di chi utilizza l'abitazione/ufficio (figura 3.6).

Gli esempi in sequenza esposti in figura 3.6, mostrano alcune possibili modifiche di associazioni realizzabili senza interventi di tipo edile e senza interventi di tipo elettrico.

L'associazione, compiuta anche direttamente dal cliente finale, è immediata e semplice da realizzare.

Può avvenire secondo 2 modalità:

I. Manuale;
II. Evoluta.

Per la prima non è necessario nessun supporto e viene compiuta in loco manualmente in pochi istanti.
Per la seconda è necessario un qualsiasi computer e il software "Smart Mesh Building Configurator", il quale permette, graficamente e basandosi sulla planimetria della propria abitazione/ufficio, di sovrapporre icone corrispondenti ai punti di comando, ai punti luce, ai punti di gestione azionamenti, ecc.
L'avvenuta sovrapposizione virtuale, realizza automaticamente l'associazione fisica-reale degli oggetti sovrapposti.

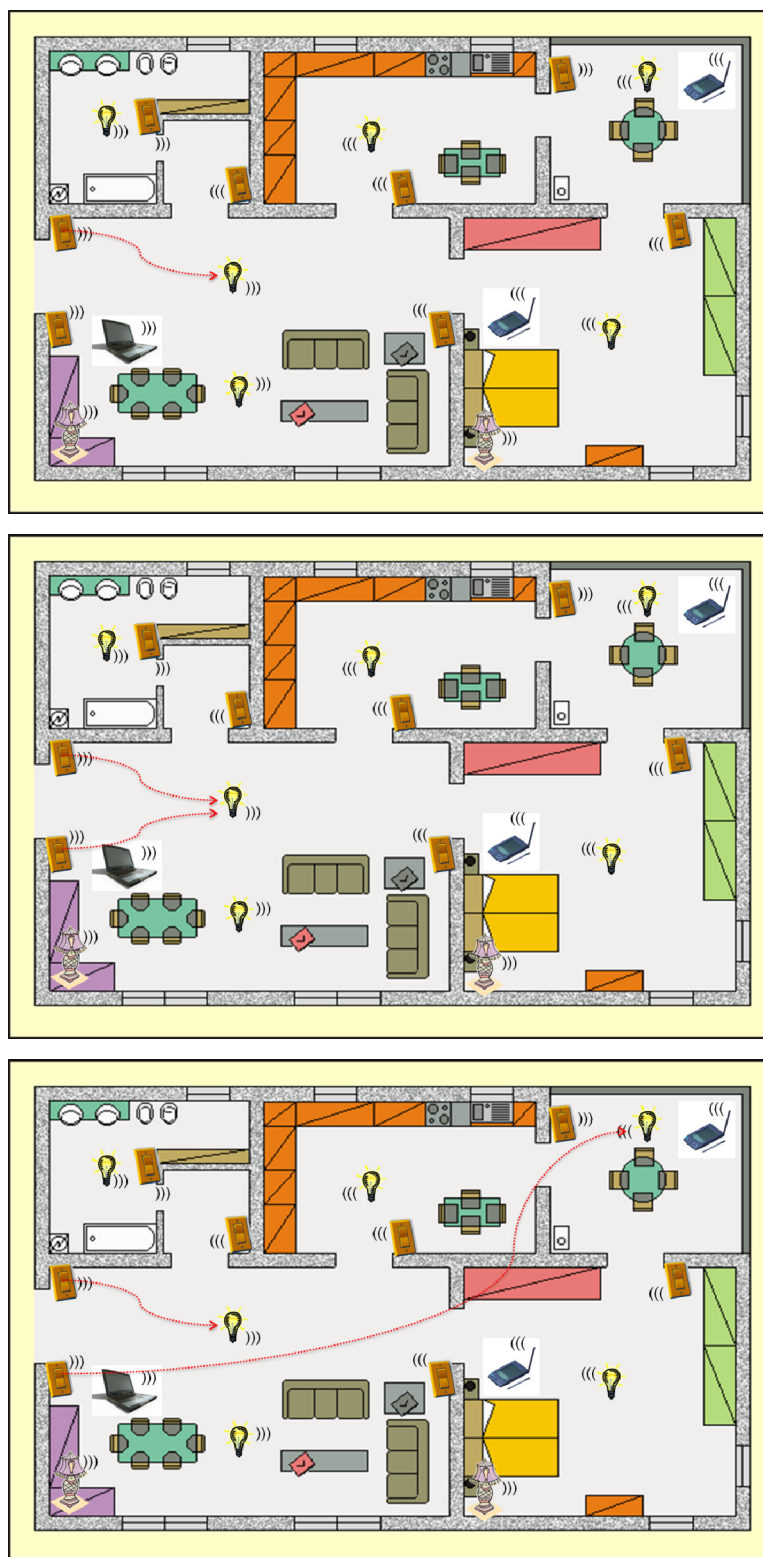



Fig. 3.6: Esempi di associazione totalmente liberi relativi alla funzionalità comando-luce della propria abitazione.

3.3.1.3 KIT TERMOSTATO

Il kit termostato permette all'utilizzatore dell'abitazione/ufficio, non solo di riposizionare in qualsiasi posizione spaziale dell'immobile il termostato (punto di acquisizione temperatura e umidità ambientali) appendendolo a parete o appoggiandolo su una qualsiasi superficie, ma anche di modificare le sue relative associazioni (figura 3.7 e 3.8).
Per esempio, si può avere la necessità di acquisire una temperatura/umidità di una stanza e visualizzarla in un altro punto (gestito da un display, computer, palmare, ecc.) dell'appartamento/ufficio, si può aggiungere un secondo termostato per comandare l'accensione/spegnimento di una caldaia fisicamente posizionata in un punto anche lontano dal nuovo termostato, si può semplicemente cambiare un "vecchio" termostato (collegato a fili) da una posizione "infelice" ad un'altra, ritenuta più favorevole, ecc.
Tutto questo ovviamente senza interventi di tipo edile e senza interventi di tipo elettrico, realizzabile, in molti casi, direttamente dal cliente finale.

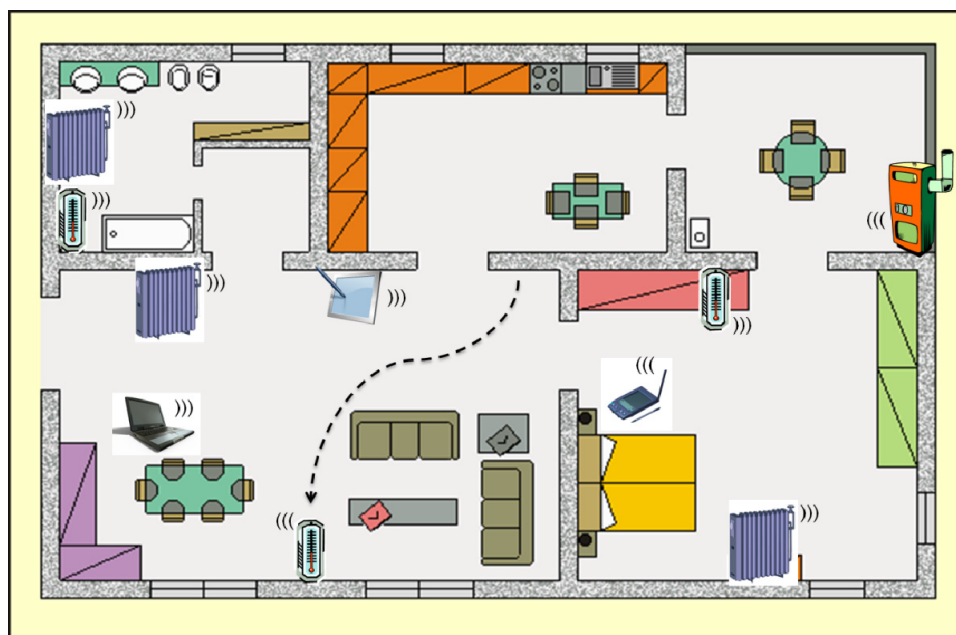



Fig. 3.7: Mobilità totalmente libera relativa al posizionamento del termostato della propria abitazione.

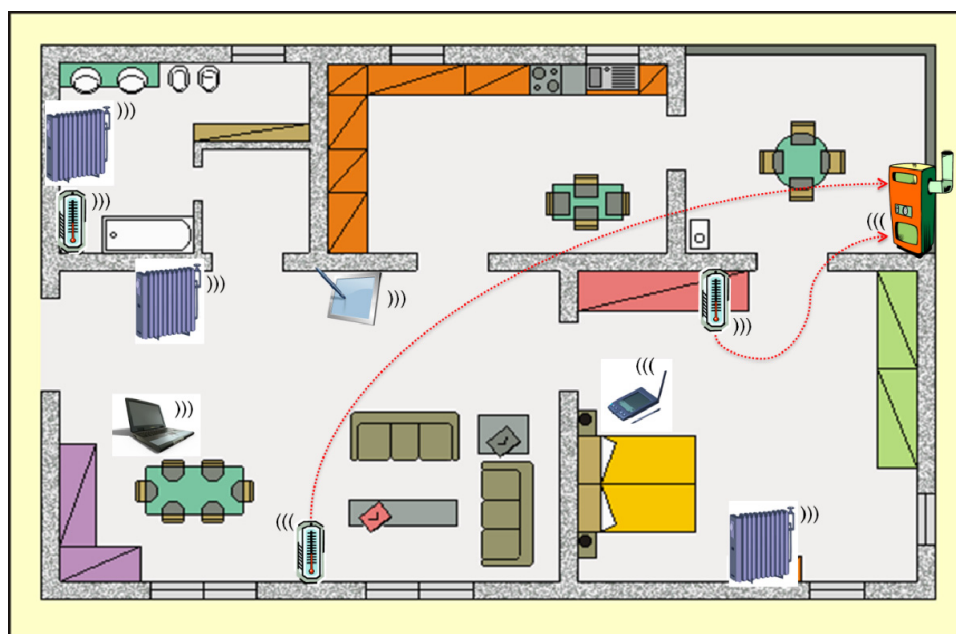



Fig. 3.8: Esempi di associazione totalmente liberi relativi alla funzionalità termostato della propria abitazione.

3.3.1.4 KIT GESTIONE AZIONAMENTI

Il kit gestione azionamenti permette di comandare azionamenti motorizzati presenti in un'abitazione o ufficio (esempio, automazione tapparelle esterne, automazione tende da sole interne/esterne, automazione cancelli carrabili/pedonali, automazione porte/portoni/finestre, ecc.), con la possibilità di riposizionamento e di aggiunta del punto di comando e della flessibile associazione comando-azionamento, senza interventi invasivi esterni.
Per esempio, inizialmente l'automatizzazione di una tenda da sole viene comandata da un punto fisso, poi, successivamente, emerge la necessità di avere un altro punto (o altri punti) di gestione della stessa come rappresentato in figura 3.9.
Grazie a Smart Mesh Building, questo può essere velocemente realizzabile e in molti casi, anche direttamente dal cliente finale, ovviamente senza la necessità di interventi di tipo edile e di tipo elettrico.

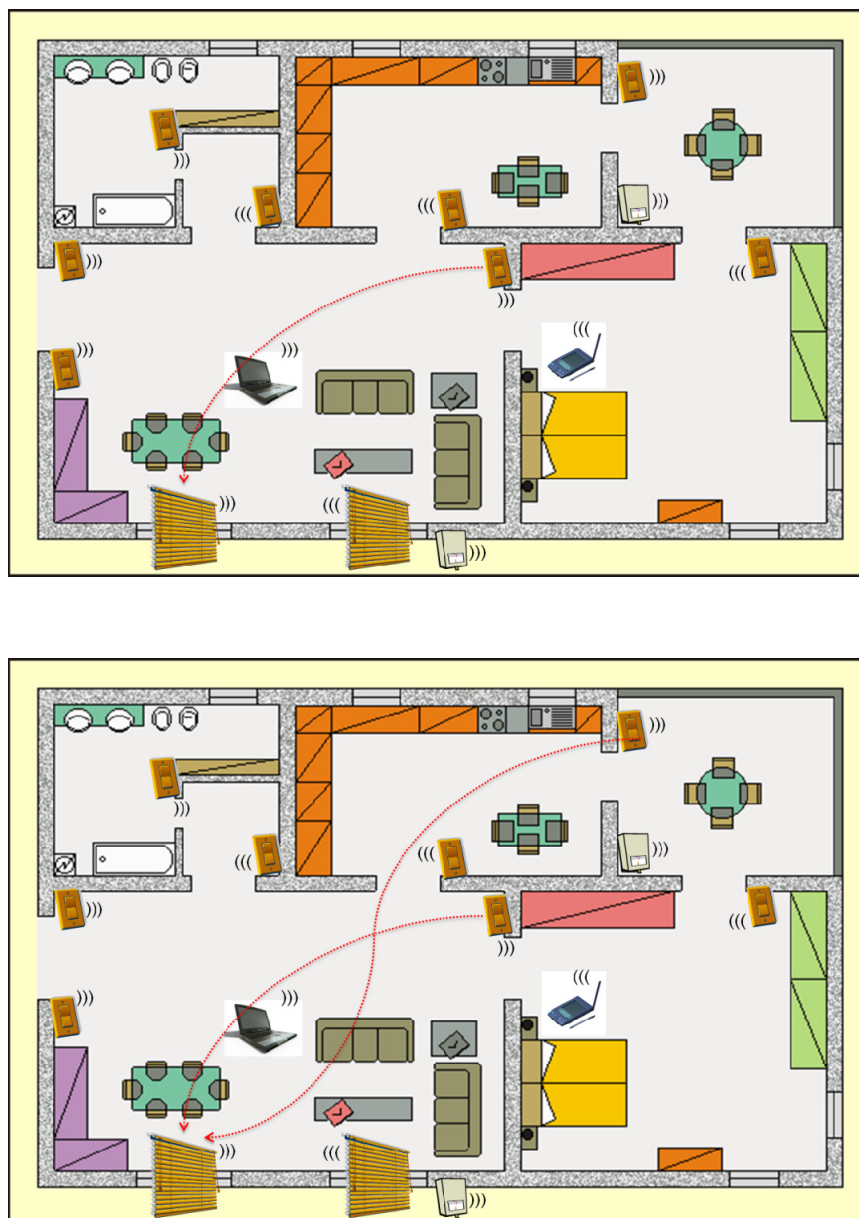



Fig. 3.9: Esempi di associazione totalmente liberi relativi alla funzionalità gestione-tapparelle della propria abitazione.

3.3.1.5 KIT GESTIONE CONSUMI

Il kit gestione consumi permette non solo di monitorare, visualizzare e memorizzare i consumi elettrici (e quindi i relativi costi) della propria abitazione/ufficio, ma anche di gestire e coordinare la priorità di alimentazione dei carichi stessi, in caso di un sovraccarico (cioè di una richiesta di energia maggiore di quella permessa dal contratto di fornitura, caso molto frequente in abitazioni), evitando così la brusca interruzione generale di energia elettrica.

E' noto a tutti che una migliore gestione energetica, permette un'elevata efficienza energetica e quindi risparmio sui costi dell'utente finale.

La tecnologia senza fili a mesh di Smart Mesh Building permette il monitoraggio (inteso come misurazione delle principali grandezze elettriche, quali corrente, potenza ed energia) di prese, dove colleghiamo per esempio elettrodomestici e luci (figura 3.10).

Questi dati vengono in tempo reale elaborati e visualizzati su piattaforme fisse e/o mobili commerciali (computer, display, palmari, iPhone, iPad, ecc.), con la possibilità, grazie alla tecnologia wireless a mesh di SMB, di gestirli, in qualsiasi momento, attraverso una semplice connessione Internet (Ethernet e/o Wi-Fi).

Non è quindi più necessario un costoso "telecomando ad hoc", che viene sostituito da un classico dispositivo mobile commerciale, di cui ormai chiunque è dotato.

Per attivare una gestione, il cliente finale si connette dal proprio dispositivo, semplicemente a pagine web.

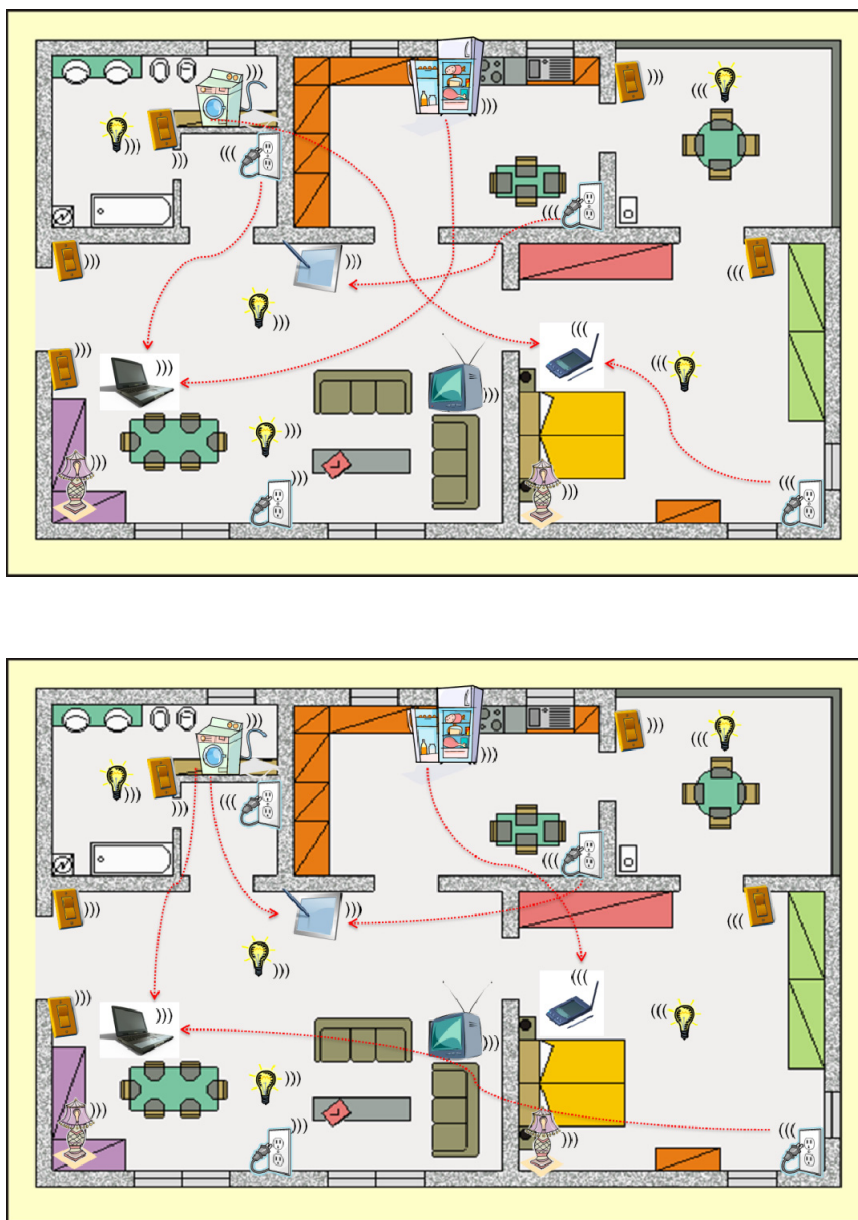



Fig. 3.10: Esempi di connessioni totalmente libere relative alla funzionalità gestione-monitoraggio consumi elettrici della propria abitazione.

3.3.1.6 KIT RISPARMIO ENERGETICO LUCE

Il kit risparmio energetico luce permette di “alleggerire” la propria bolletta energetica, riducendo il consumo dell’impianto di illuminazione di casa/ufficio, quando la luminosità desiderata all’interno dei locali, può essere raggiunta anche in parte grazie alla luce esterna.

E’ noto a tutti che una migliore gestione energetica, permette un’elevata efficienza energetica e quindi risparmio sui costi dell’utente finale.

Il singolo punto luce viene gestito (con funzionalità on-off e dimmer, vedi kit luce) non solo dai punti di comando desiderati, ma anche da sensori, posizionati dall’utente finale, negli ambienti (figura 3.11).

Il posizionamento dei sensori di luminosità è come sempre totalmente libero, modificabile in qualsiasi momento e non vincolato dal cablaggio (considerando le loro miniaturizzate dimensioni è comodo per esempio, appenderli a parete, oppure appoggiarli su una qualsiasi superficie di casa).

L’associazione sensore-luce e/o sensore-presa (per luce) può essere modificata in modo semplice ed immediato, come avviene in tutti i kit del sistema Smart Mesh Building e con le stesse modalità accennate per il kit luce.

Tutto questo ovviamente senza interventi di tipo edile e senza interventi di tipo elettrico, realizzabile anche direttamente dal cliente finale.

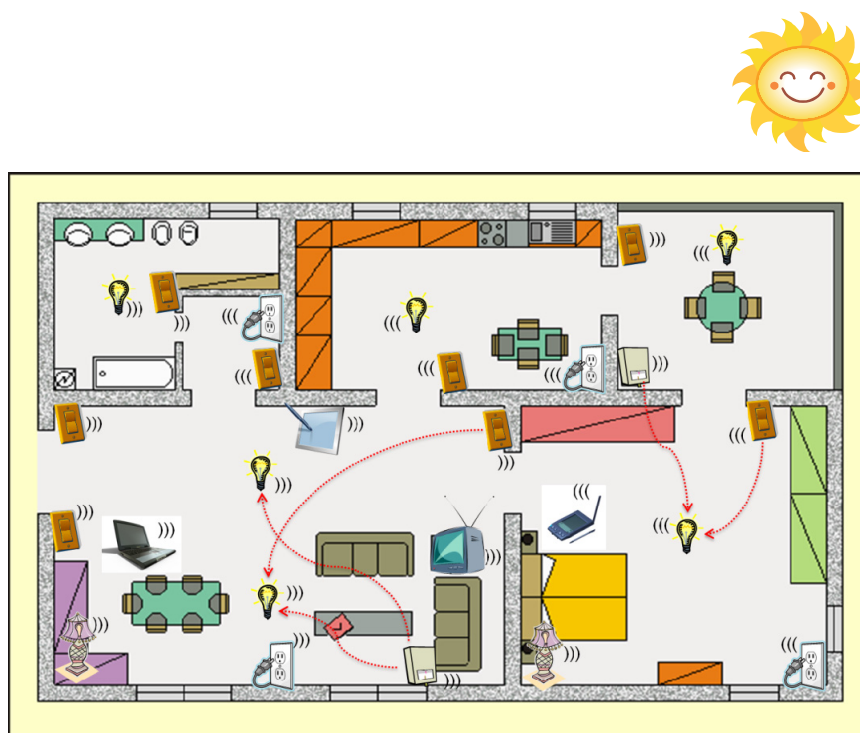
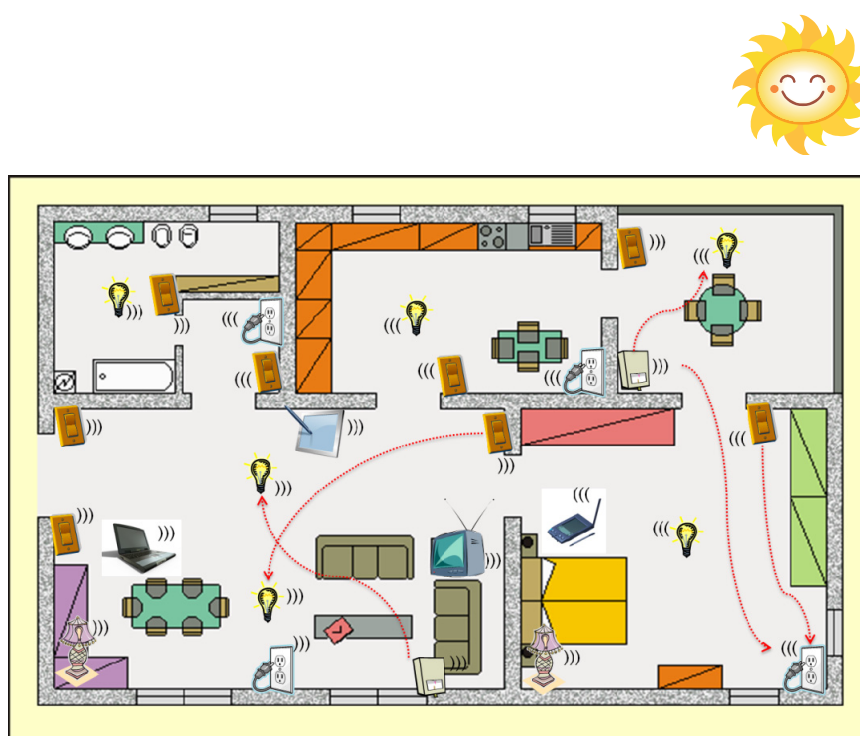



Fig. 3.11: Esempi di associazione totalmente liberi relativi alla funzionalità risparmio energetico luce della propria abitazione.

3.3.2 COSTO DEI KIT

La seguente tabella (tabella 3.1) mostra i costi che SMB deve sostenere per produrre i kit finiti, comprensivi di schede hardware, firmware, supporti, packaging, ecc.).
Sono esclusi i guadagni per kit e le placche estetiche esterne (necessarie solo per alcuni kit).
SMB fornisce inoltre i relativi supporti (necessari solo per alcuni kit, per esempio quello luce) per il montaggio di placchette già esistenti e/o di venditori terzi, al fine di non cambiare il design delle placchette, già in opera, al cliente finale (caso ristrutturazioni o modifiche in edifici esistenti).

Tab. 3.1: Stima costi complessivi per tipologia kit e per quantità del sistema Smart Mesh Bulding

Kit	Quantità 1k	Quantità 10k	Quantità 100k
Kit base	€ 30,00	€ 25,00	€ 20,00
Kit luce	€ 90,00	€ 76,00	€ 54,00
Kit termostato	€ 95,00	€ 85,00	€ 70,00
Kit gestione azionamenti	€ 90,00	€ 76,00	€ 54,00
Kit gestione consumi	€ 120,00	€ 105,00	€ 85,00
Kit risparmio energetico luce	€ 105,00	€ 90,00	€ 70,00

CAPITOLO 4

4
PROGETTAZIONE E ANALISI TECNICO/ECONOMICA DI IMPIANTI ELETTRICI CIVILI

Si esegue un confronto attraverso lo studio, la progettazione e l’analisi tecnico/economica dell’impianto elettrico di due soluzioni abitative di diversa grandezza con tre diverse piattaforme:

- Piattaforma analogica classica di tipo cablato,
- Piattaforma a Bus di tipo cablato,
- Piattaforma totalmente wireless (assenza di cablaggi).

Oltre alla progettazione tecnica dell’impianto si vuole in particolare confrontare le tre possibili realizzazioni, evidenziando il rapporto funzionalità/costi per ciascuna piattaforma indicata.

Le tre piattaforme verranno studiate con le medesime caratteristiche tecnico-funzionali in modo da permettere un equo confronto.

Il lavoro intende valutare un nuovo approccio relativo alla realizzazione di impianti elettrici, inserendosi nell'ampio settore della Domotica.

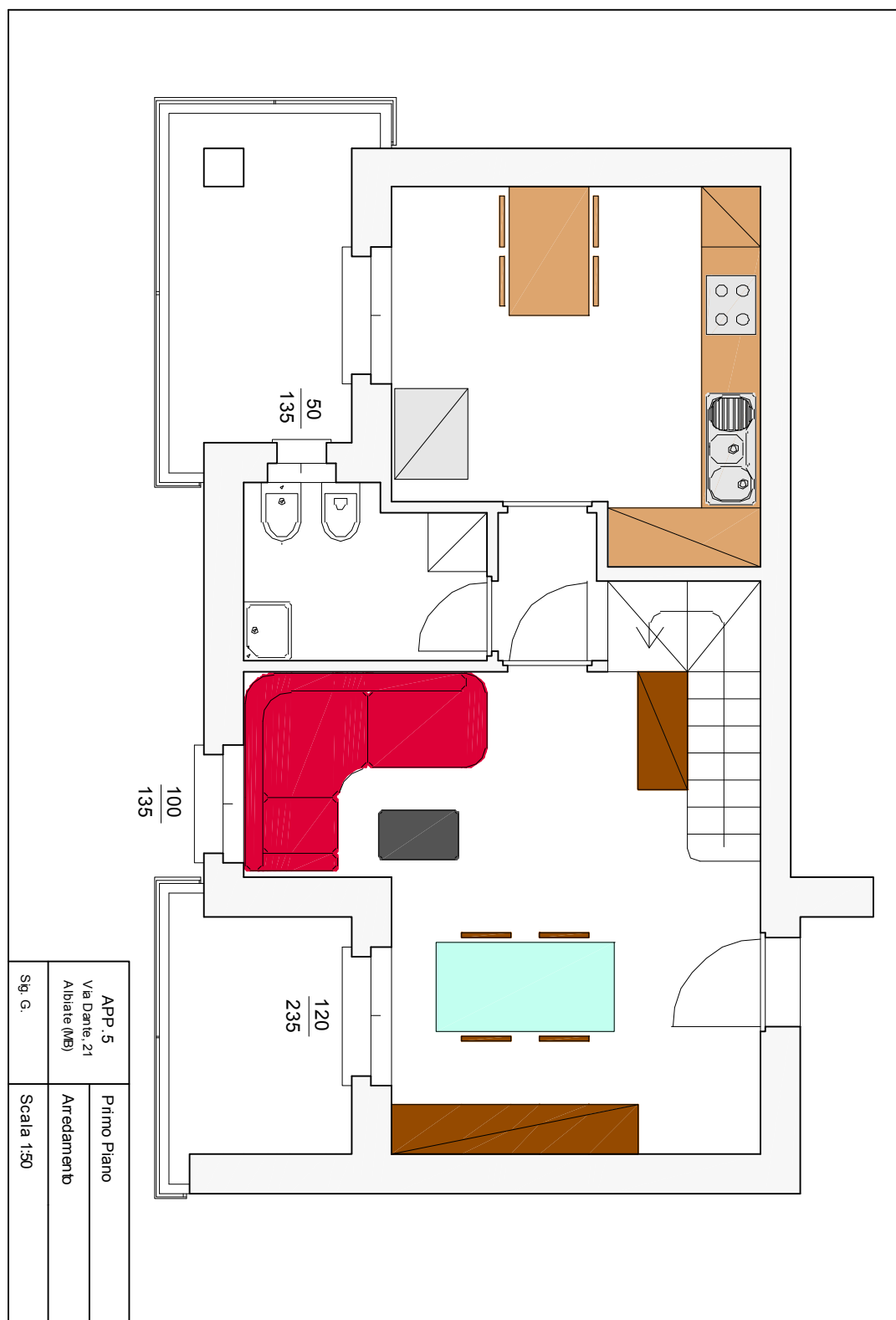
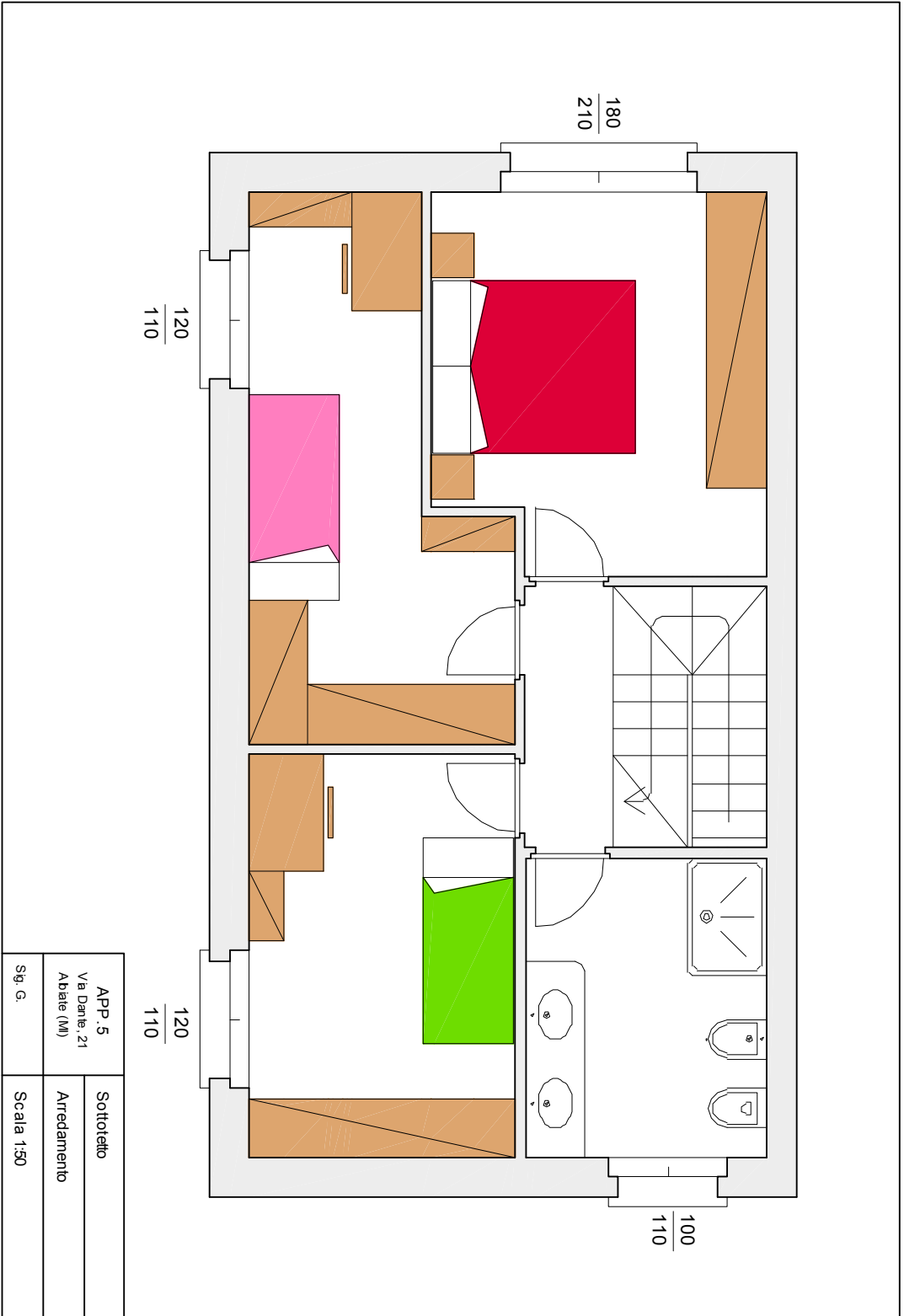
4.1 PROGETTO DELL'IMPIANTO ELETTRICO DI UNA UNITA' ABITATIVA DI MEDIA GRANDEZZA

L'abitazione, distribuita su due livelli, le cui piante sono rappresentate in tavola 4.1 e 4.2 e di cui si conosce la disposizione dell'arredamento, è composta di quattro locali, cucina e servizi con le seguenti caratteristiche:

Superficie	
Locale	**m^2**
Soggiorno	20,06
Disimpegno 1	1,50
Ripostiglio	2,30
Lavanderia	4,25
Cucina	12,98
Scala	4,24
Disimpegno 2	2,39
Camera matrimoniale	12,60
Camera singola 1	11,99
Camera singola 2	11,07
Bagno	7,47
Totale	**90,85**
Balcone 1	6,25
Balcone 2	4,61

TAVOLA 4.1

APP. 5
Via Dante, 21
Albiate (MB)
Sig. G.
Primo Piano
Arredamento
Scala 1:50
50
135
100
135
120
235

TAVOLA 4.2

180
210
120
110
120
110
100
110
APP. 5
Via Dante, 21
Albiate (MI)
Sig. G.
Sottotetto
Arredamento
Scala 1:50

4.1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

L'impianto dovrà essere realizzato in conformità alle seguenti leggi, decreti, circolari e norme CEI:

- Legge del 1 marzo 1968 n.186 (Regola d'arte);
- Legge del 5 marzo 1990 n.46 (Norme per la sicurezza degli impianti);
- Decreto ministeriale del 22 gennaio 2008 n.37;
- Decreto ministeriale 19 maggio 2010 (modifica degli allegati al decreto 22 gennaio 2008, n.37, concernente il regolamento in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici);
- Norma CEI 64-9 (Impianti elettrici utilizzatori a destinazione residenziale e similare);
- Norma CEI 64-8 (Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua);
- Norme CEI 3-23 (Segni grafici per schemi).

4.1.2 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Per quanto riguarda l'alimentazione dell'abitazione è prevista una fornitura dell'energia, da parte dell'ENEL, il cui punto di consegna, a valle del contatore, è stato posizionato all'esterno per essere facilmente accessibile da parte del personale dell'Ente distributore anche in assenza dell'utente.
Il quadro generale, verrà posizionato all'interno dell'abitazione a fianco della porta d'ingresso, conterrà le apparecchiature di comando e di sezionamento, quelle di protezione dei circuiti contro le sovracorrenti e le protezioni differenziali.

Essendo un’abitazione con superficie compresa tra i 40 e i 150 m^2 è prevista una distribuzione, in partenza dal quadro generale, che prevede tre dorsali, una per l’illuminazione, una per prese da 10 A ed una per prese da 16 A (figura 4.1), collegate alle rispettive cassette di derivazione, poste nei rispettivi baricentri di potenza, per una distribuzione più economica dei cavi di alimentazione.

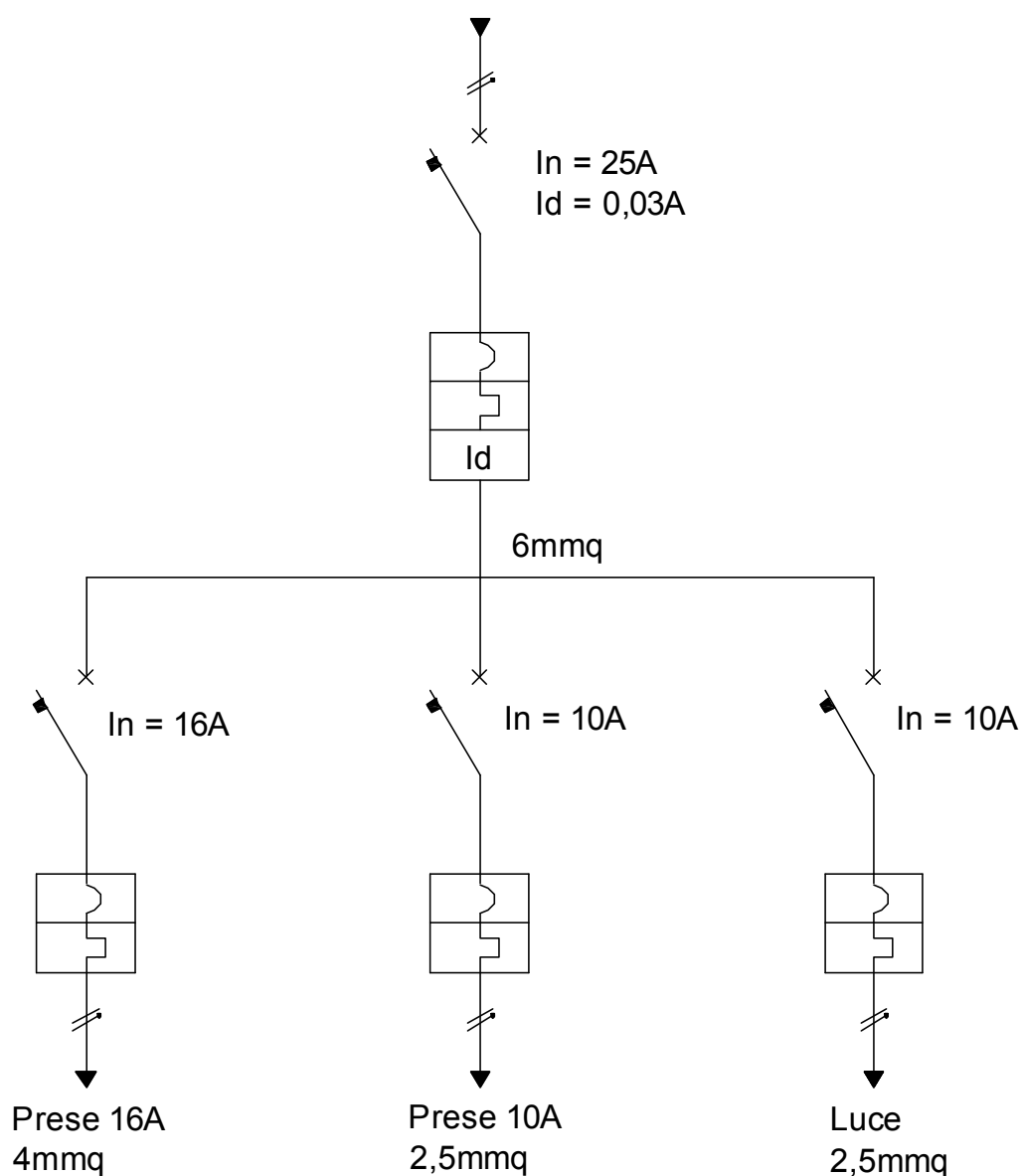



Fig. 4.1: Schema dei circuiti del quadro generale.

I tubi protettivi da utilizzare devono soddisfare le seguenti prescrizioni:

- Il diametro interno deve essere superiore di almeno il 30% rispetto al diametro del fascio dei cavi che devono contenere;
- nei tubi non sono ammesse giunzioni dei cavi;
- deve essere assicurata la sfilabilità e la reinfilabilità dei cavi;
- i tubi flessibili installati sotto pavimento devono essere del tipo pesante.

Le quote consigliate per l'installazione delle apparecchiature sono desumibili dalla tabella 4.1.

Tab. 4.1: Quote consigliate per l'installazione delle apparecchiature

Servizio	**H. altezza installazione in cm**
Presa a spina	35
Prese a spina e comandi punti luce testate letti	80
Comandi luce e prese per elettrodomestici portatili	110
Prese a spina e comandi punti luce interno bagni e piano lavoro cucina	120
Quadro unità abitativa	160
Suoneria - Ronzatore	200
Presa a spina per ventola di aspirazione bagni	230
Pulsante a tirante per bagni	230
Presa a spina per alimentazione cappa cucina	250

La tabella 4.2 riassume le dotazioni previste nell'appartamento.

Tab. 4.2: Dotazioni previste nell'abitazione

Locale	Illuminazione	Servizi vari
Soggiorno	N. 1 Punto luce a soffitto comandato da 2 punti N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 1 punto	N. 3 Presa 2P+T 10A
Disimpegno 1	N. 1 Punto luce a soffitto comandato da 3 punti	N. 1 Presa 2P+T 10A N. 1 Suoneria ingresso N. 1 Luce d'emergenza
Ripostiglio	N. 1 Punto luce a parete (h=100cm) comandato da 1 punto	
Lavanderia	N. 1 Punto luce a soffitto comandato da 1 punto N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 1 punto	N. 1 Presa 2P+T 16/10A bipasso N. 1 Presa 2P+T 10A
Cucina	N. 1 Punto luce a soffitto comandato da 1 punto	N. 6 Presa 2P+T 16/10A bipasso
Scala	N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 5 punti	
Disimpegno 2		N. 2 Presa 2P+T 10A N. 1 Ronzatore bagno N. 1 Luce d'emergenza
Camera matrimoniale	N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 3 punti	N. 3 Presa 2P+T 10A
Camera singola 1	N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 2 punti	N. 2 Presa 2P+T 10A
Camera singola 2	N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 2 punti	N. 2 Presa 2P+T 10A
Bagno	N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 1 punto N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 2 punti	N. 2 Presa 2P+T 10A N. 1 Pulsante a tirante
Balcone 1	N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 1 punto	N. 1 Presa 2P+T 10A N. 1 Presa per tenda elettrica
Balcone 2	N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 1 punto	N. 1 Presa 2P+T 10A N. 1 Presa per tenda elettrica

Avendo a disposizione la pianta dell'appartamento con l'esatta ubicazione dell'arredamento, si localizzano i centri di potenza, i punti luce e le prese in maniera razionale con una distribuzione degli organi di comando accessibili anche quando le porte sono aperte.
Il centro di potenza rappresenta il baricentro dei rispettivi carichi e viene localizzato vicino alla sua posizione ideale.
Dopo le indicazioni che accomunano le varie piattaforme si procede all'analisi delle singole soluzioni.

4.1.3 PIATTAFORMA TRADIZIONALE

Le tavole 4.3 e 4.4 rappresentano i disegni della localizzazione degli organi di comando, delle prese, dei punti luce e dei centri di potenza. Da queste tavole sarà poi possibile delineare il materiale da impiegare.

TAVOLA 4.3

APP. 5
Via Dante, 21
Albiate (MB)
Sig. G.
Primo Piano
Impianto elettrico
Scala 1:50
Q.G.
CD1
CD2
Cappa

TAVOLA 4.4

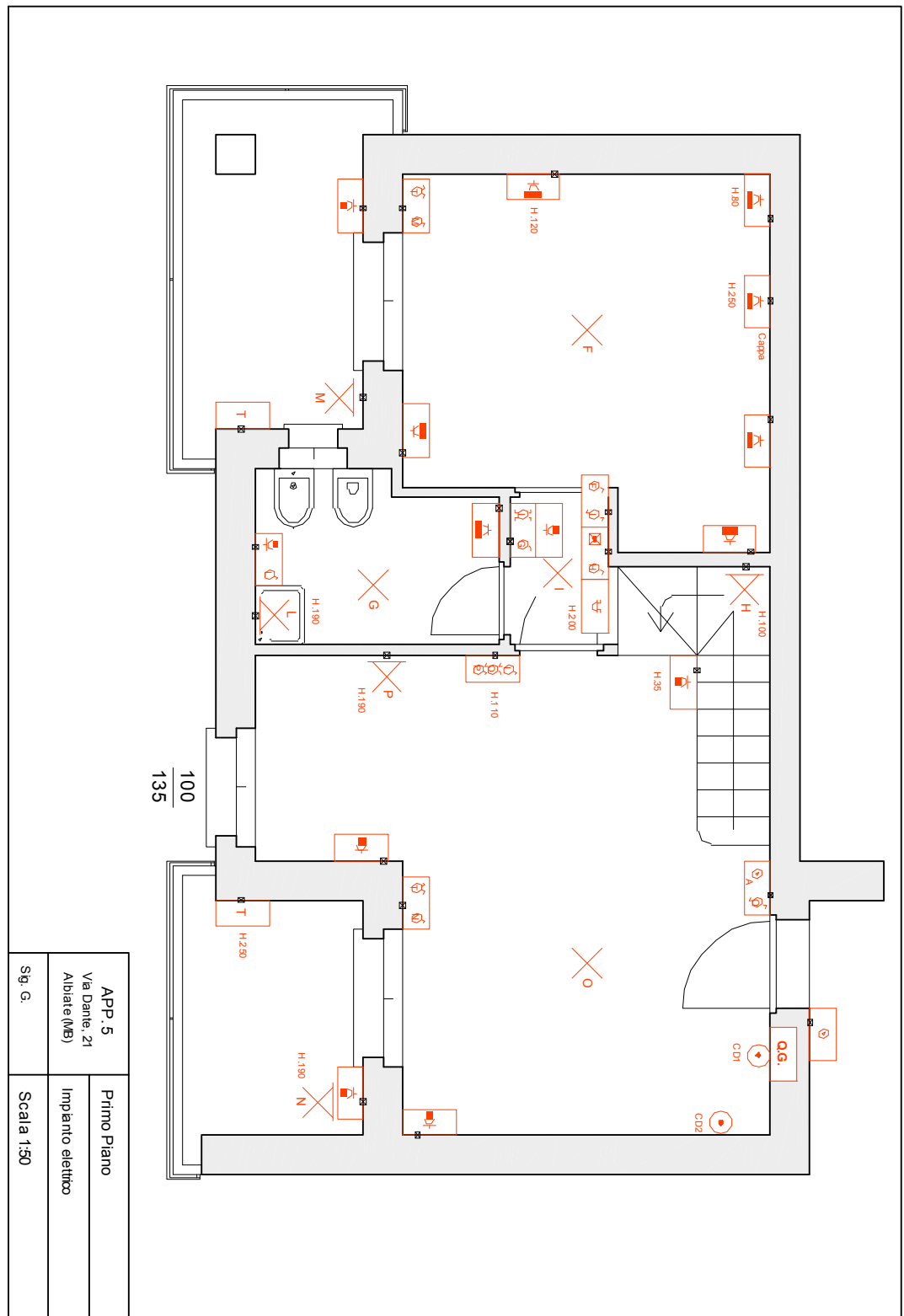
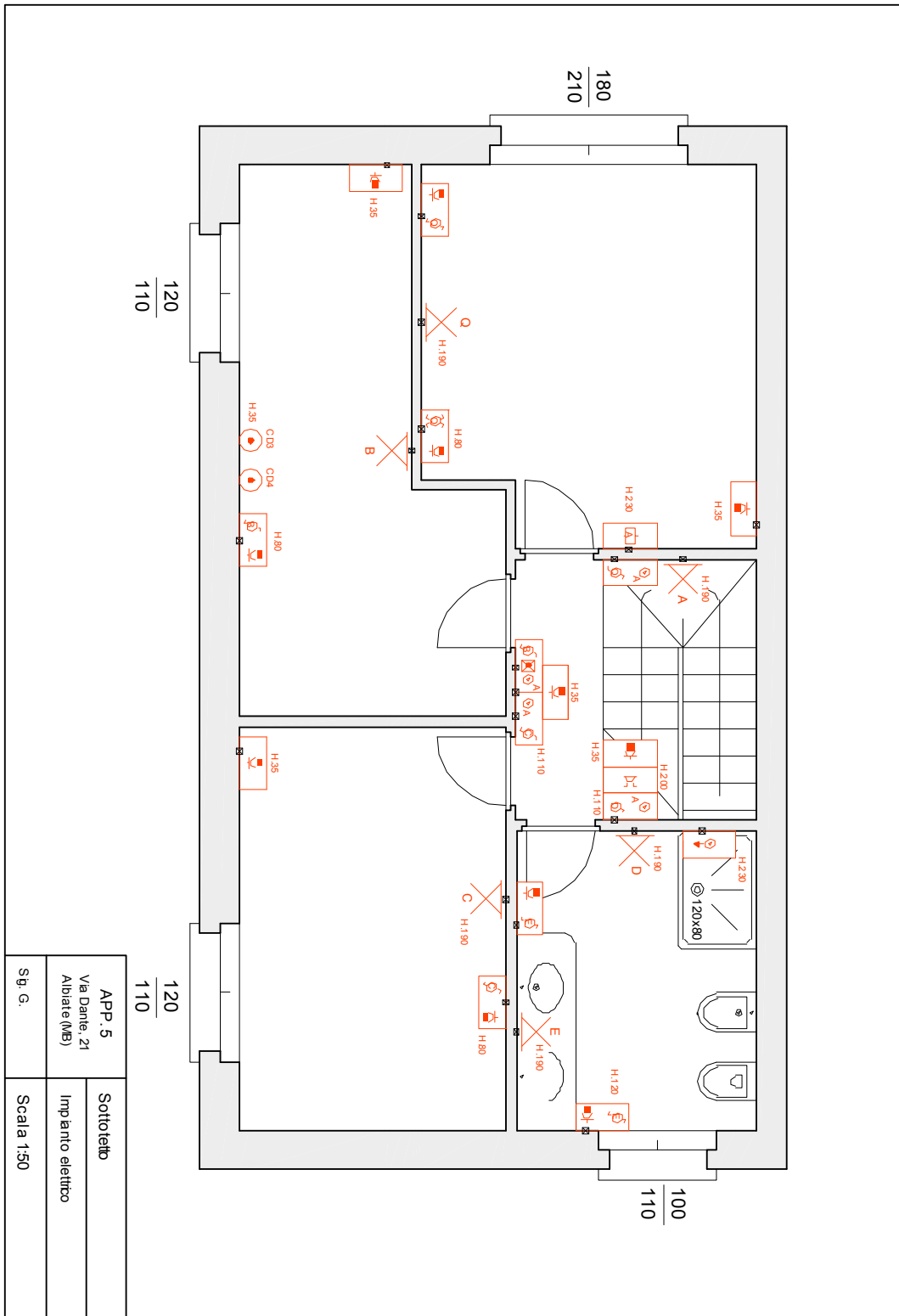
APP. 5
Via Dante, 21
Albiate (MB)
Sig. G.
Sottotetto
Impianto elettrico
Scala 1:50

La tavola 4.5 e 4.6 riporta lo schema topografico della distribuzione dell'impianto luce e la 4.7 e 4.8 della distribuzione dell'impianto da 10A e da 16A su cui sono specificate le lunghezze dei cavi occorrenti.

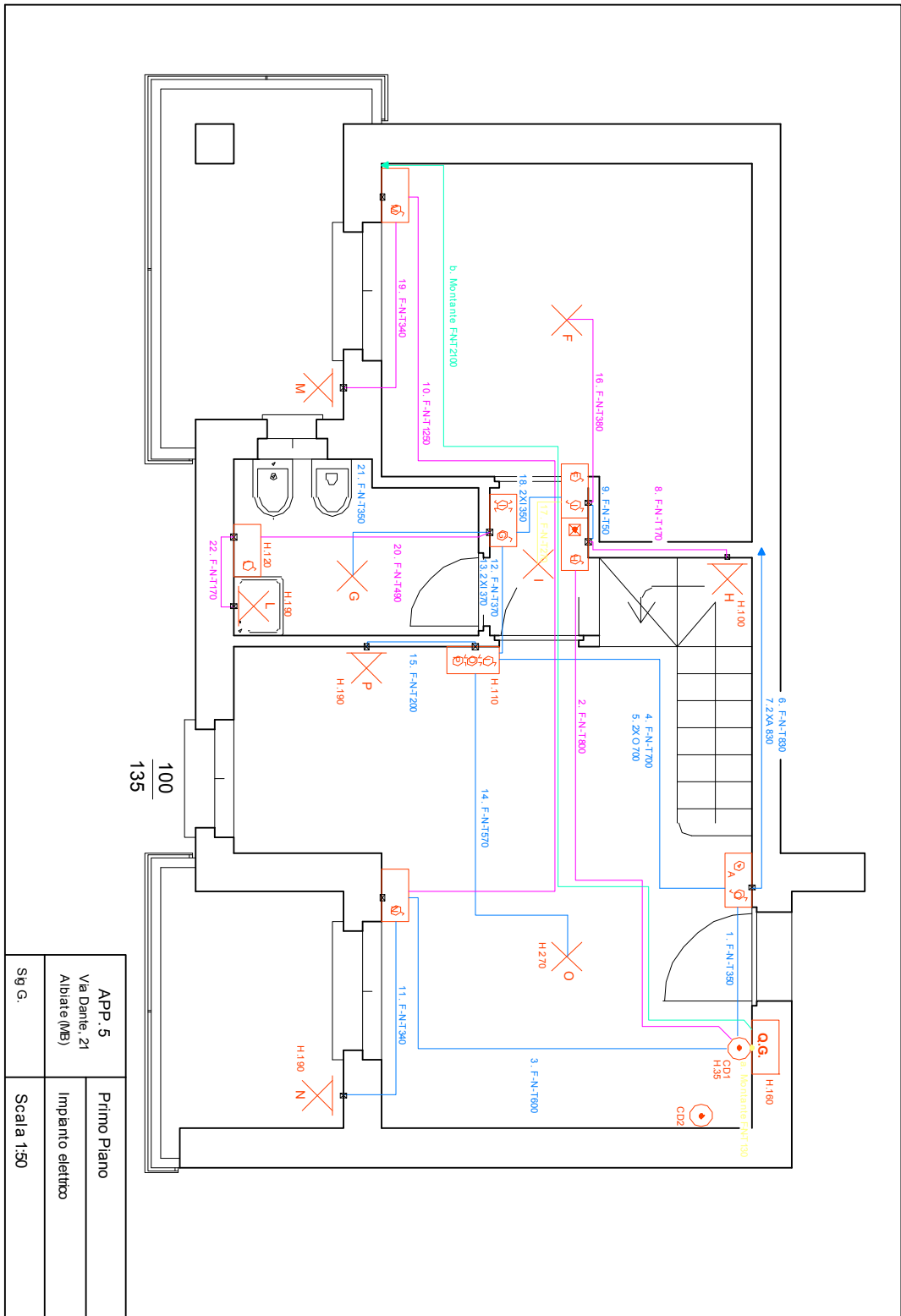
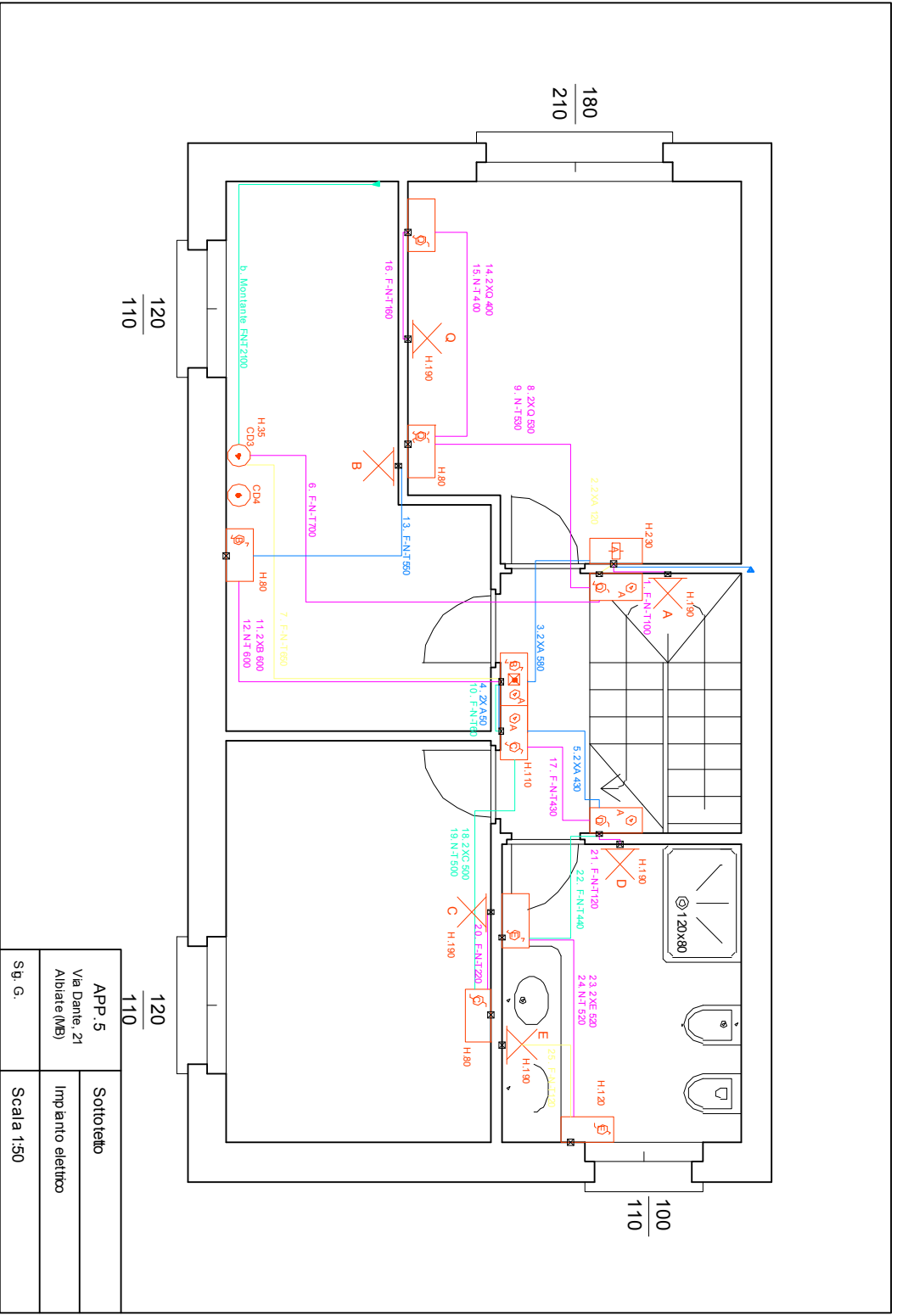
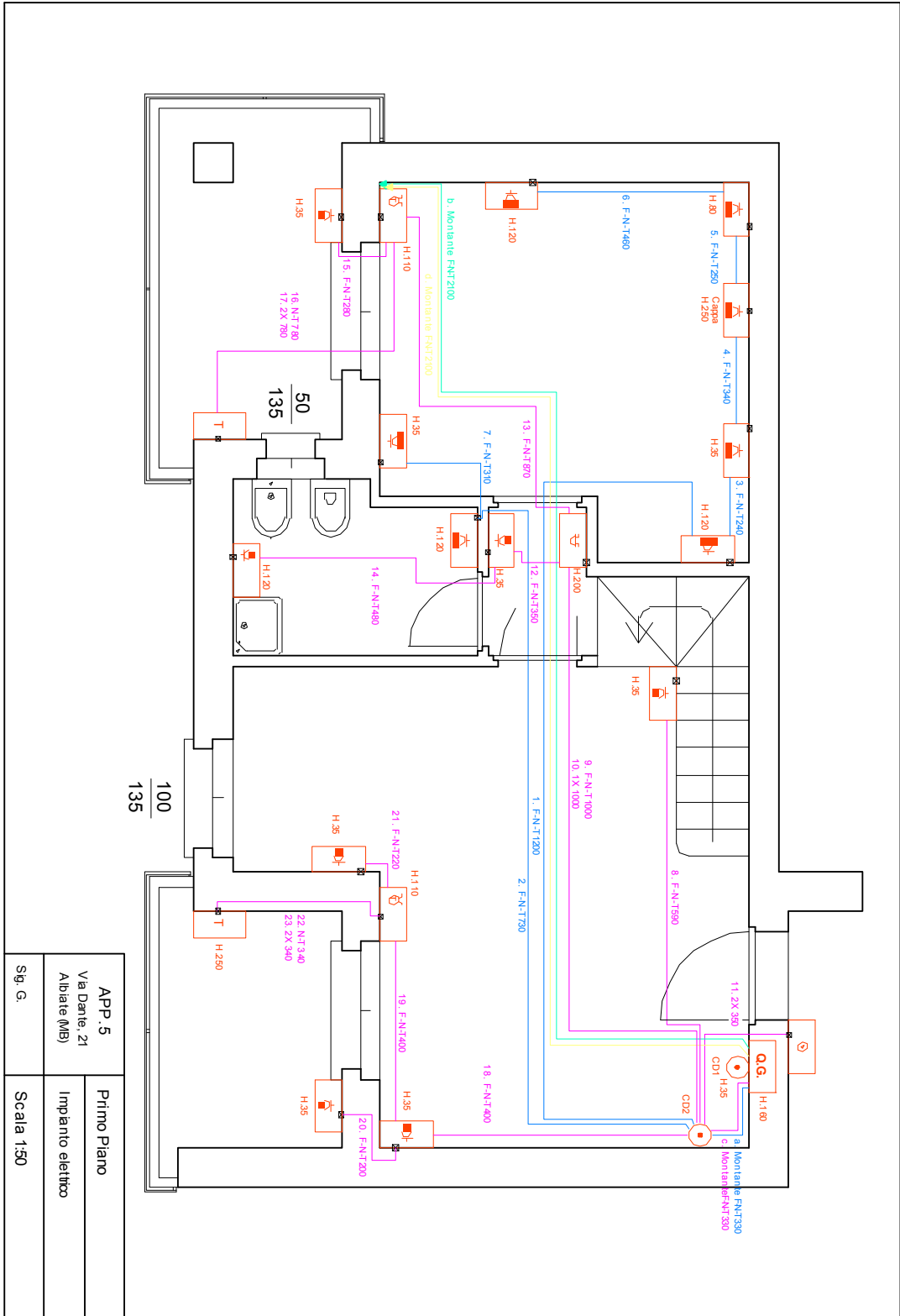
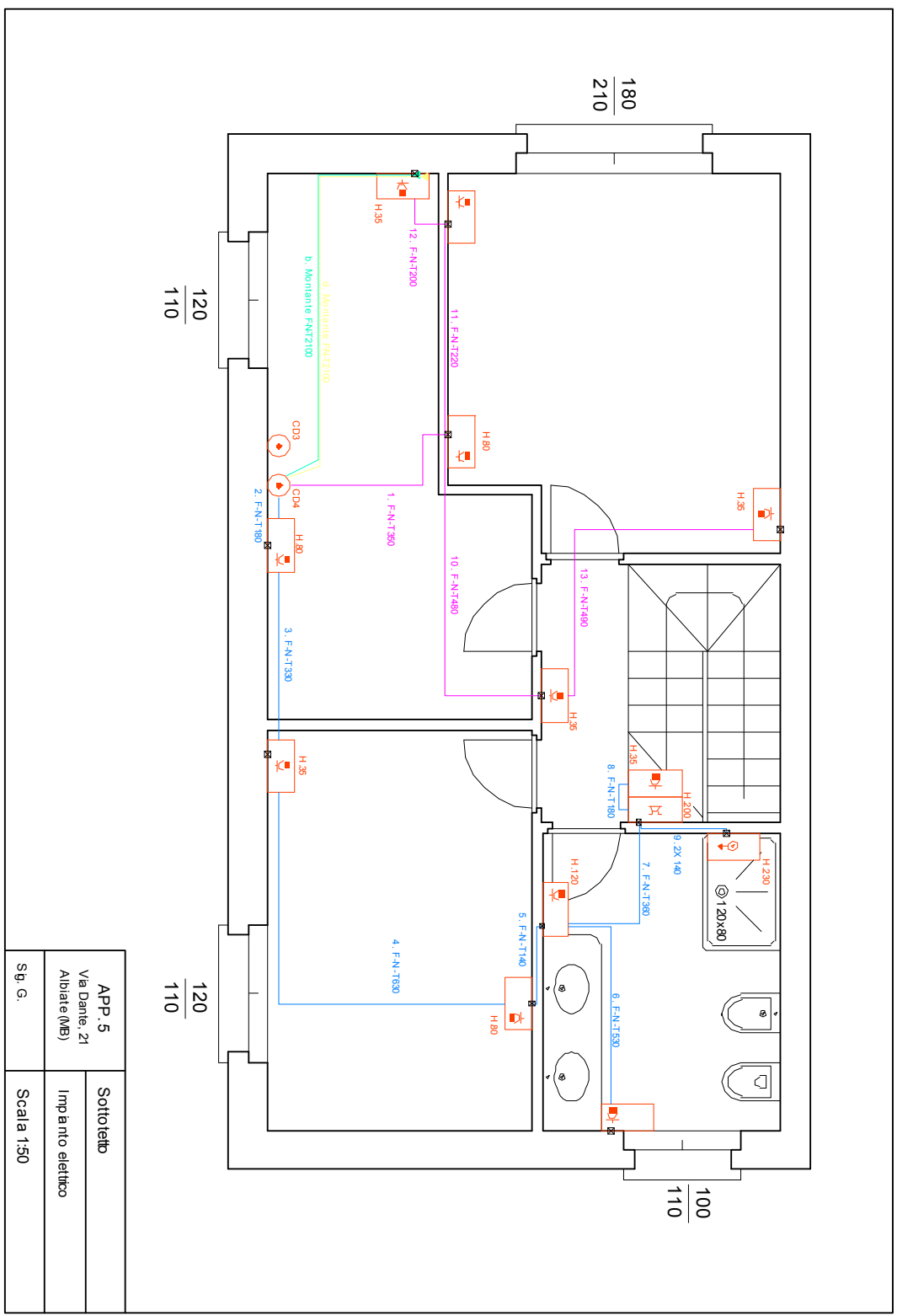
TAVOLA 4.5

APP. 5
Via Dante, 21
Albiate (MB)
Sig G.
Primo Piano
Impianto elettrico
Scala 1:50

TAVOLA 4.6

APP. 5
Via Dante, 21
Albiate (MB)
Sg. G.
Sottotetto
Impianto elettrico
Scala 1:50

TAVOLA 4.7

APP.5
Via Dante, 21
Albiate (MB)
Sig. G.
Primo Piano
Impianto elettrico
Scala 1:50
Q.G.

TAVOLA 4.8

Si procede ora al calcolo del preventivo di spesa.
Si è fatto prevalentemente uso di apparecchiature Vimar serie Eikon le cui schede tecniche e prezzi sono consultabili dal Listino Generale 90 della Vimar, e di apparecchiature Bticino i cui prezzi sono invece visualizzabili dal Listino Prezzi della Bticino del 1 Luglio 2010.
Per i cavi, cioè per la cordina antifiamma delle varie sezioni necessarie e per il tubo isolante flessibile da posare sottotraccia, si sono ricavati i prezzi dal Prezzario delle Opere Edili della Camera di Commercio di Milano.
Dallo studio eseguito su 10 imprese artigiane operanti nel settore, a cui sono stati richiesti i tempi di ogni opera compiuta, si è potuta formulare la seguente tabella 4.3:

Tab. 4.3: Impianto Tradizionale – Tempi medi di installazione

Descrizione opera	**Tempo medio min**
Punto luce comandato da 1 punto	30,5
Punto luce comandato da 2 punti	45,5
Punto luce comandato da 3 punti	60
Punto luce comandato da 4 punti tramite pulsanti unipolari e relè passo-passo	70,5
Punto luce comandato da 5 punti tramite pulsanti unipolari e relè passo-passo	79,5
Ronzatore con relativo pulsante a tirante	31,5
Suoneria con relativo pulsante unipolare	31,5
Luce d'emergenza	20,5
Commutatore con frecce direzionali per tenda elettrica	37
Termostato ambiente + elettrovalvola/caldaia	39
Presa 2P+T 10A	20,5
Presa 2P+T 16/10A bipasso	20,5
Scatola di derivazione	19,5
Quadro generale comprensivo di: centralino di incasso sezionatore 32A spia luminosa interruttore magnetotermico differenziale 25A Id=30mA interruttore magnetotermico 16A n.2 interruttori magnetotermici 10A	30

La tabella contiene il tempo per ogni opera eseguita, dato dalla media di tutti i tempi forniti dalle 10 imprese del settore. Moltiplicando tale tempo per il costo orario di un installatore elettrico, desumibile dal Prezzario delle Opere Edili della CCIAA di Milano, è possibile conteggiare la spesa totale della manodopera elettrica.

La tabella 4.3 racchiude in essere delle ipotesi semplificative:

- Le varie ditte hanno considerato un'abitazione civile di circa 100 m^2 .
- Per tempo impiegato hanno considerato l'intervallo di tempo che intercorre durante le seguenti prestazioni:
  I. posa del tubo flessibile nella traccia, dal centro di potenza fino al punto di utilizzo;
  II. inserimento dei cavi nelle tubazioni;
  III. montaggio dei frutti, supporto e placca con i necessari collegamenti.

  Hanno supposto che non si verifichino impedimenti fortuiti che facciano aumentare la durata.
- Non si tiene conto di aumenti dovuti a prestazioni fuori sede perché tale lavoro non rientra nella casistica degli interventi.

Dal Prezzario delle Opere Edili, esistono più categorie di installatori e per ognuna di essa si ha un costo orario: si considera quindi un prezzo medio di 30,00 €/h.

Nel Prezzario delle Opere Edili della CCIAA di Milano si desume che il costo per le assistenze murarie all'installazione dell'impianto elettrico, deve essere conteggiato in percentuale media sul prezzo dell'impianto, 50% o 55%: si sceglie, dunque, il 50%.

A seguito di quanto esposto si consegue il Preventivo di Spesa riportato nella seguente tabella 4.4:

Tab. 4.4: Preventivo di Spesa

Descrizione materiale	Quantità	Prezzo un.	Totale
Interruttore unipolare 250V 16A - Vimar Eikon art. 20001	N. 8	€ 5,92	€ 47,36
Deviatore unipolare 250V 16A - Vimar Eikon art. 20005	N. 12	€ 7,16	€ 85,92
Invertitore unipolare 250V 16A - Vimar Eikon art. 20013	N. 2	€ 11,57	€ 23,14
Pulsante unipolare 250V 10A - Vimar Eikon art. 20008	N. 5	€ 5,78	€ 28,90
Relè passo-passo - Bticino BTDIN FP1A/230	N. 1	€ 31,21	€ 31,21
Commutatore a due tasti con frecce direzionali 250V 10A - Vimar Eikon art. 20060 (tenda)	N. 2	€ 16,82	€ 33,64
Presa 2P+T 10A 250V - Vimar Eikon art. 20201	N. 18	€ 4,32	€ 77,76
Presa 2P+T 16A 250V bipasso - Vimar Eikon art. 20203	N. 7	€ 5,95	€ 41,65
Pulsante a tirante 250V 10A - Vimar Eikon art. 20052	N. 1	€ 10,83	€ 10,83
Ronzatore 230V - Vimar Eikon art. 20378	N. 1	€ 19,07	€ 19,07
Suoneria 230V - Vimar Eikon art. 20373	N. 1	€ 24,68	€ 24,68
Torcia elettronica portatile - Vimar Eikon art. 20395	N. 2	€ 68,05	€ 136,10
Copriforo - Vimar Eikon art. 20041	N. 63	€ 0,79	€ 49,77
Passacavo con serracavo - Vimar Eikon art. 20044	N. 2	€ 1,59	€ 3,18
Scatola rettangolare da incasso unificata 3 moduli (GW 650°C) - Vimar V71303	N. 42	€ 0,27	€ 11,34
Supporto 3 moduli - Vimar Eikon art. 20613	N. 42	€ 1,09	€ 45,78
Placche 3 moduli - Vimar Eikon art. 20653.40 Reflex tecnopolimero	N. 42	€ 3,20	€ 134,40
Scatola rettangolare da incasso unificata 4 moduli (GW 650°C) - Vimar V71304	N. 1	€ 1,08	€ 1,08
Supporto 4 moduli - Vimar Eikon art. 20614	N. 1	€ 1,38	€ 1,38
Placche 4 moduli - Vimar Eikon art. 20654.40 Reflex tecnopolimero	N. 1	€ 4,80	€ 4,80
Scatola per relè passo-passo - Vimar V70004	N. 1	€ 1,12	€ 1,12
Scatola di derivazione da incasso con coperchio bianco e viti di fissaggio. Dimensioni 287x154x70 mm - Vimar V70007	N. 4	€ 3,12	€ 12,48
FK15N tubo nero FL 3321 d.20	m 369,7	€ 0,30	€ 110,91
N07V-K 1,5mmq rossa cordina antifiamma	m 206,6	€ 0,22	€ 45,45
N07V-K 1,5mmq nera cordina antifiamma	m 85,9	€ 0,22	€ 18,90
N07V-K 1,5mmq marrone cordina antifiamma	m 75,9	€ 0,22	€ 16,70
N07V-K 1,5mmq blu cordina antifiamma	m 243,3	€ 0,22	€ 53,53
N07V-K 1,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m 243,3	€ 0,22	€ 53,53
N07V-K 2,5mmq marrone cordina antifiamma	m 81,9	€ 0,36	€ 29,48
N07V-K 2,5mmq blu cordina antifiamma	m 81,9	€ 0,36	€ 29,48
N07V-K 2,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m 81,9	€ 0,36	€ 29,48
N07V-K 4,0mmq marrone cordina antifiamma	m 24,3	€ 0,57	€ 13,85
N07V-K 4,0mmq blu cordina antifiamma	m 24,3	€ 0,57	€ 13,85
N07V-K 4,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m 24,3	€ 0,57	€ 13,85
N07V-K 6,0mmq nera cordina antifiamma	m 1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq blu cordina antifiamma	m 1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m 1	€ 0,83	€ 0,83
Sezionatore 32A - Bticino BTDIN F72N/32N (1 modulo)	N. 1	€ 15,07	€ 15,07
Spia luminosa 230V - Bticino BTDIN F40V (1 modulo)	N. 1	€ 13,44	€ 13,44
Interruttore magnetotermico differenziale 25A Id=0,03A - Bticino BTDIN G8130/25AC (4 moduli)	N. 1	€ 62,18	€ 62,18
Interruttore magnetotermico 16A - Bticino BTDIN F810N/16 (2 moduli)	N. 1	€ 16,72	€ 16,72
Interruttore magnetotermico 10A - Bticino BTDIN F810N/10 (2 moduli)	N. 2	€ 16,72	€ 33,44
Centralino da incasso con portello trasparente, 12 moduli, completo di scatola di incasso - Vimar V52412	N. 1	€ 14,71	€ 14,71
Totale materiale		**€**	**1.412,66**

Descrizione	Quantità	Prezzo un.	Totale
Manodopera elettrica	h 23,73	€ 30,00	€ 712,00

Materiale + Manodopera elettrica	€ 2.124,66

Descrizione	Totale
Opere murarie	€ 1.062,33

TOTALE	**€ 3.186,98**

Come si può notare sono evidenziati separatamente i totali del materiale, della manodopera elettrica e delle opere murarie.

4.1.4 PIATTAFORMA A BUS DI TIPO CABLATO

La localizzazione degli organi di comando, delle prese, dei punti luce e dei centri di potenza è invariata rispetto alla piattaforma tradizionale, quindi si rimanda alle tavole 4.3 e 4.4.
Rimane invariata,inoltre, la distribuzione del circuito di potenza delle prese da 10 e da 16 A rappresentate nelle precedenti tavole 4.7 e 4.8.
Risulta diverso invece il materiale di comando da impiegare, in particolare dell’impianto luce; dunque la distribuzione del circuito di comando si modifica come riportato nelle seguenti tavole 4.9 e 4.10.

TAVOLA 4.9

APP. 5
Via Dante, 21
Albiate (MB)
Sig. G.
Primo Piano
Impianto elettrico
Scala 1:50
100
135

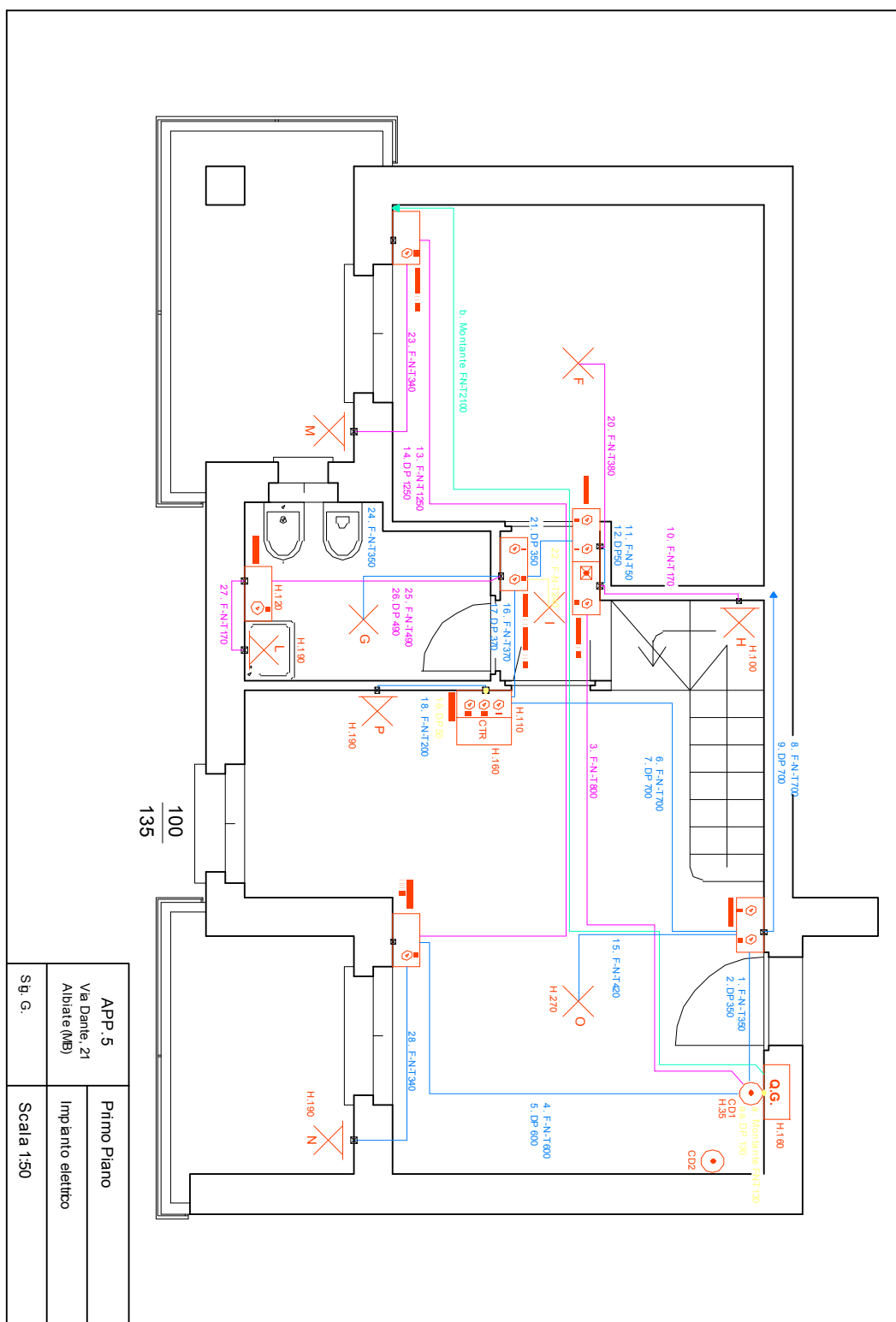
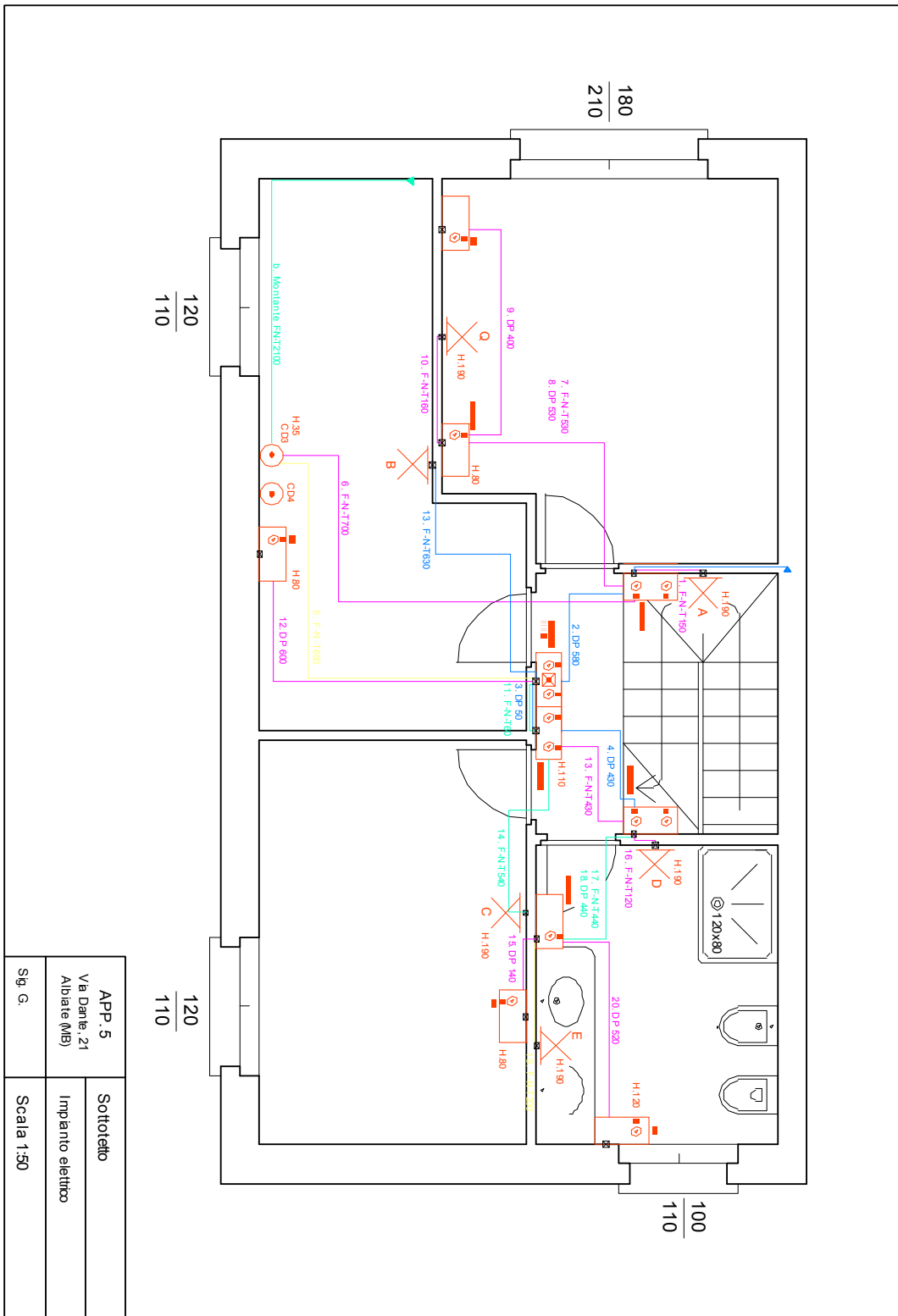



TAVOLA 4.10

Come si può notare, la differenza sostanziale rispetto la soluzione precedente risiede nella realizzazione del circuito Bus che collega tra loro tutti i dispositivi di comando; mentre il circuito di potenza, ora separato dalla linea di comando, va ad alimentare attraverso il rispettivo attuatore il punto luce.

Per il calcolo del Preventivo di Spesa si è deciso di utilizzare il Sistema domotico by-Me della Vimar la cui componentistica utilizzata è consultabile sul Catalogo Generale 2009 e i prezzi sono invece riportati nel Listino Generale 90 Vimar.

Con le stesse modalità e ipotesi utilizzate per la piattaforma tradizionale anche per la domotica cablata è stato eseguito il medesimo studio, sulle imprese artigiane del settore, in base al quale si è ottenuta la seguente tabella 4.5:

Tab. 4.5: Impianto Domotico cablato – Tempi medi di installazione

Descrizione opera	**Tempo medio min**
Punto luce comandato da 1 punto	30,5
Punto luce comandato da 2 punti	39,5
Punto luce comandato da 3 punti	48,5
Punto luce comandato da 4 punti	57,5
Punto luce comandato da 5 punti	66,5
Pulsante basculante e attuatore per tapparella	33,5
Centrale di controllo	19,5
Alimentatore circuito bus	13,5
Programmazione impianto	30,5
Ronzatore con relativo pulsante a tirante	31,5
Suoneria con relativo pulsante unipolare	31,5
Luce d'emergenza	20,5
Termostato ambiente + elettrovalvola/caldaia	32
Presa 2P+T 10A	20,5
Presa 2P+T 16/10A bipasso	20,5

Scatola di derivazione	19,5
Quadro generale comprensivo di: centralino di incasso sezionatore 32A spia luminosa interruttore magnetotermico differenziale 25A Id=30mA interruttore magnetotermico 16A n.2 interruttori magnetotermici 10A	30

Come si può notare alcune voci restano invariate rispetto a quelle della piattaforma tradizionale proprio perché il circuito di potenza non cambia.
Si considera, come precedentemente, un prezzo medio della manodopera elettrica di 30,00 €/h mentre per le opere edili si ipotizza una spesa pari a quella sostenuta per la piattaforma tradizionale. Infatti ipotizzando di usare la lunghezza dei cavi come parametro di riferimento, nel caso di piattaforma tradizionale si ha un’estensione totale di 369,7 m mentre per la domotica cablata di 363,3 m e dunque l’assistenza muraria nei due casi resta quasi la stessa. Il circuito di comando non presenta più un cablaggio fatto in funzione dei comandi e delle segnalazioni che servono, ma risulta più semplice perché i componenti sono collegati solamente dal BUS (doppino dedicato). L’estensione dell’impianto, però, varia poco tra le due piattaforme: ai cavi del cablaggio tradizionale prende posto il doppino del circuito BUS. Le opere strutturali dunque restano pressoché invariate.

Si ricava il Preventivo di Spesa descritto nella sottostante tabella 4.6:

Tab. 4.6: Preventivo di Spesa

Descrizione materiale	Quantità	Prezzo un.	Totale
Centrale di controllo 2 moduli - Vimar Eikon art. 20510	N. 1	221,88	€ 221,88
Due pulsanti basculanti ed attuatore con uscita a relè in scambio 8 A 120-230 V, da completare con tasto - 2 moduli Vimar Eikon art. 20526	N. 14	€ 57,44	€ 804,16
Tre pulsanti basculanti ed attuatore con uscita a relè in scambio 8 A 120-230 V, da completare con tasto - 3 moduli Vimar Eikon art. 20546	N. 1	€ 86,88	€ 86,88
Due pulsanti basculanti, da completare con tasti - 2 moduli - Vimar Eikon art.20521	N. 4	€ 52,21	€ 208,84
Pulsante unipolare 250V 10A - Vimar Eikon art. 20008	N. 1	€ 5,78	€ 5,78
Presa 2P+T 10A 250V - Vimar Eikon art. 20201	N. 18	€ 4,32	€ 77,76

Presa 2P+T 16A 250V bipasso - Vimar Eikon art. 20203	N. 7	€ 5,95	€ 41,65
Due pulsanti basculanti ed attuatore per 1 tapparella con uscita a relè 4 A 120-230 V, da completare con tasto - 2 moduli Vimar Eikon art. 20527	N. 2	€ 63,25	€ 126,50
Pulsante a tirante 250V 10A - Vimar Eikon art. 20052	N. 1	€ 10,83	€ 10,83
Ronzatore 230V - Vimar Eikon art. 20378	N. 1	€ 19,07	€ 19,07
Suoneria 230V - Vimar Eikon art. 20373	N. 1	€ 24,68	€ 24,68
Torcia elettronica portatile - Vimar Eikon art. 20395	N. 2	€ 68,05	€ 136,10
Copriforo - Vimar Eikon art. 20041	N. 52	€ 0,79	€ 41,08
Passacavo con serracavo - Vimar Eikon art. 20044	N. 2	€ 1,59	€ 3,18
Tasto neutro per pulsanti basculanti - Vimar Eikon art. 20531.S	N. 39	€ 2,38	€ 92,82
Tasto simbolo frecce direzionali per pulsanti basculanti - Vimar Eikon art. 20531.21	N. 2	€ 2,38	€ 4,76
Scatola rettangolare da incasso unificata 3 moduli (GW 650°C) - Vimar V71303	N. 38	€ 0,27	€ 10,26
Supporto 3 moduli - Vimar Eikon art. 20613	N. 38	€ 1,09	€ 41,42
Placche 3 moduli - Vimar Eikon art. 20653.40 Reflex tecnopolimero	N. 38	€ 3,20	€ 121,60
Scatola rettangolare da incasso unificata 4 moduli (GW 650°C) - Vimar V71304	N. 5	€ 1,08	€ 5,40
Supporto 4 moduli - Vimar Eikon art. 20614	N. 5	€ 1,38	€ 6,90
Placche 4 moduli - Vimar Eikon art. 20654.40 Reflex tecnopolimero	N. 5	€ 4,80	€ 24,00
Scatola di derivazione da incasso con coperchio bianco e viti di fissaggio. Dimensioni 287x154x70 mm - Vimar V70007	N. 4	€ 3,12	€ 12,48
FK15N tubo nero FL 3321 d.20	m 363,3	€ 0,30	€ 108,99
Morsetto estraibile a 2 poli a viti per circuito BUS - Vimar art.01839	N. 21	€ 0,82	€ 17,22
Cavo per sistemi bus 2x0,50 mmq, con guaina LSZH tensione nominale 300/500 V - 100 m - Vimar art. 01840	m 87,3	€ 0,56	€ 48,89
N07V-K 1,5mmq rossa cordina antifiamma	m 209,8	€ 0,22	€ 46,16
N07V-K 1,5mmq nera cordina antifiamma	m 26,1	€ 0,22	€ 5,74
N07V-K 1,5mmq marrone cordina antifiamma	m 16,1	€ 0,22	€ 3,54
N07V-K 1,5mmq blu cordina antifiamma	m 221	€ 0,22	€ 48,62
N07V-K 1,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m 221	€ 0,22	€ 48,62
N07V-K 2,5mmq marrone cordina antifiamma	m 81,9	€ 0,36	€ 29,48
N07V-K 2,5mmq blu cordina antifiamma	m 81,9	€ 0,36	€ 29,48
N07V-K 2,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m 81,9	€ 0,36	€ 29,48
N07V-K 4,0mmq marrone cordina antifiamma	m 24,3	€ 0,57	€ 13,85
N07V-K 4,0mmq blu cordina antifiamma	m 24,3	€ 0,57	€ 13,85
N07V-K 4,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m 24,3	€ 0,57	€ 13,85
N07V-K 6,0mmq nera cordina antifiamma	m 1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq blu cordina antifiamma	m 1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m 1	€ 0,83	€ 0,83
Sezionatore 32A - Bticino BTDIN F72N/32N (1 modulo)	N. 1	€ 15,07	€ 15,07
Spia luminosa 230V - Bticino BTDIN F40V (1 modulo)	N. 1	€ 13,44	€ 13,44
Interruttore magnetotermico differenziale 25A Id=0,03A - Bticino BTDIN G8130/25AC (4 moduli)	N. 1	€ 62,18	€ 62,18
Interruttore magnetotermico 16A - Bticino BTDIN F810N/16 (2 moduli)	N. 1	€ 16,72	€ 16,72
Interruttore magnetotermico 10A - Bticino BTDIN F810N/10 (2 moduli)	N. 2	€ 16,72	€ 33,44
Centralino da incasso con portello trasparente, 24 moduli, completo di scatola di incasso - Vimar V52424	N. 1	€ 32,09	€ 32,09
Alimentatore con uscita 29 V d.c. 800 mA, alimentazione 120-230 V 50-60 Hz, installazione su guida EN 50022, 9 moduli - Vimar art.01801	N. 1	€ 193,86	€ 193,86
Totale		**€**	**2.733,22**

Descrizione	Quantità	Prezzo un.	Totale
Manodopera elettrica	h 23,68	€ 30,00	€ 710,25

Materiale + Manodopera elettrica	€	3.443,47

Descrizione	Totale
Opere murarie	€ 1.062,33

TOTALE	**€**	**4.505,80**

La manodopera elettrica come si può notare è all'incirca invariata, dato che le tempistiche delle due piattaforme sono pressochè uguali.
La spesa totale risulta il 41,38% maggiore rispetto la piattaforma tradizionale. La differenza sostanziale risiede nel materiale di comando, di costo superiore, e nell'impiego di apparecchi ora necessari nella piattaforma a BUS e cioè: la centrale di controllo e l'alimentatore della linea BUS.

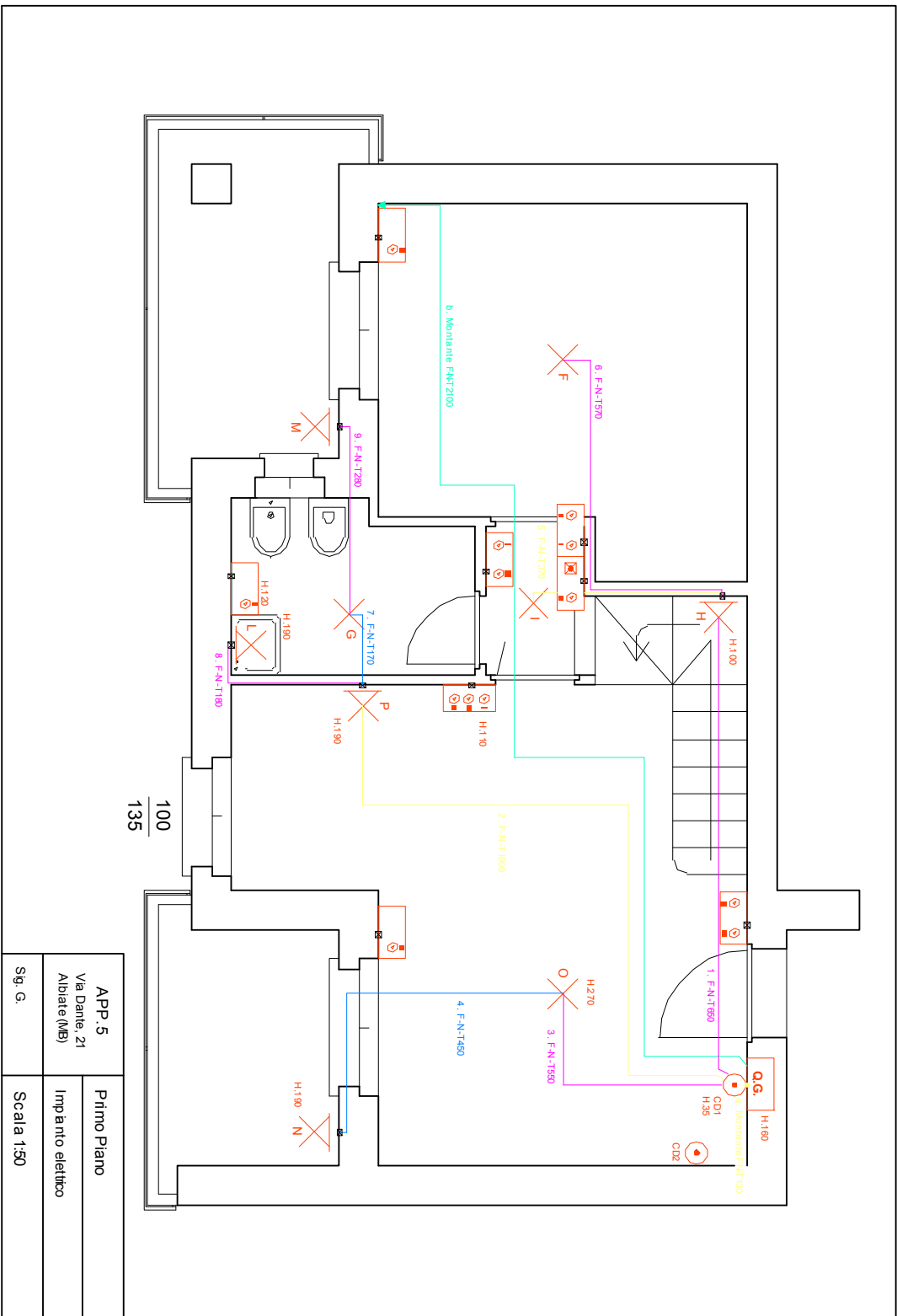
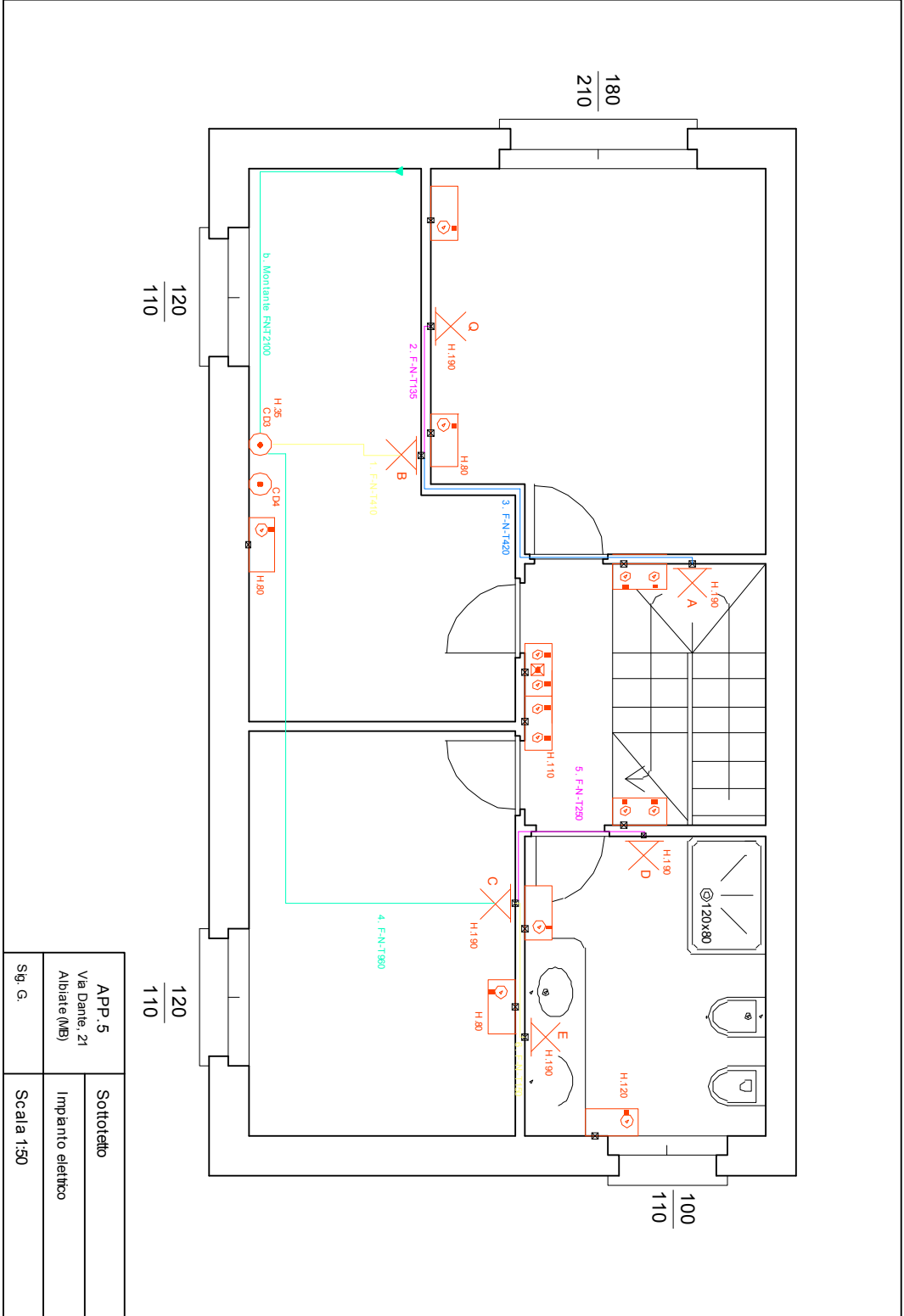
4.1.5 PIATTAFORMA WIRELESS

Le tavole 4.3 e 4.4 sono di nuovo valide per la localizzazione degli organi di comando, delle prese, dei punti luce e dei centri di potenza.
Anche le tavole 4.7 e 4.8, rappresentanti la distribuzione del circuito di potenza delle prese da 10 e da 16 A, non si modificano.
Cambia invece il materiale di comando da impiegare, in particolare dell'impianto luce; nelle seguenti tavole 4.11 e 4.12 viene rappresentata la nuova distribuzione del circuito di comando.

TAVOLA 4.11

APP.5
Via Dante, 21
Albiate (MB)
Sig. G.
Primo Piano
Impianto elettrico
Scala 1:50
Q.G.

TAVOLA 4.12

APP.5
Via Dante, 21
Albiate (MB)
Sig. G.
Sottotetto
Impianto elettrico
Scala 1:50

Con la soluzione che impiega il circuito di comando senza fili si utilizza la tecnologia di comunicazione wireless a radio frequenza della Smart Mesh Building, di cui si può consultare la documentazione e i prezzi dei componenti nel precedente capitolo o sul catalogo della società.

Dallo studio sulle imprese artigiane del settore, come fatto per le precedenti piattaforme, si ottiene la tabella 4.7:

Tab. 4.7: Impianto Domotico Wireless – Tempi medi di installazione

Descrizione opera	Tempo medio min
Punto luce	20,5
Kit base	10,5
Tenda elettrica	20,5
Ronzatore con relativo pulsante a tirante	31,5
Suoneria con relativo pulsante unipolare	31,5
Luce d'emergenza	20,5
Termostato ambiente + elettrovalvola/caldaia	20,5
Presa 2P+T 10A	20,5
Presa 2P+T 16/10A bipasso	20,5
Scatola di derivazione	19,5
Quadro generale comprensivo di: centralino di incasso sezionatore 32A spia luminosa interruttore magnetotermico differenziale 25A Id=30mA interruttore magnetotermico 16A n.2 interruttori magnetotermici 10A	30

Il circuito di potenza non cambia: nella tabella le voci che si modificano sono solo quelle riguardanti la parte di comando.

La manodopera elettrica per un equo confronto è nuovamente di 30,00 €/h, al contrario le opere edili diventano inferiori rispetto alle soluzioni precedenti. Usando di nuovo la lunghezza dei cavi come parametro di riferimento, con la piattaforma tradizionale si ha un’estensione totale di

369,70 m, con la domotica cablata di 363,30 m, mentre con la domotica wireless di 276,55 m. Si consegue una diminuzione del 25,20% sull'estensione totale dell'impianto dovuto alla riduzione del circuito di comando. Infatti la lunghezza totale dei cavi luce del tradizionale è di 180,90 m mentre del domotico wireless è solamente di 87,75 m. Gli apparecchi di comando non sono più collegati tra loro tramite cablaggi ma è presente soltanto la semplice linea di alimentazione monofase che serve i punti luce.

La diminuzione dell'estensione dell'impianto comporta, quindi, una riduzione dell'assistenza muraria necessaria. Applicando, dunque, il decremento del 25,20% alla spesa edile della piattaforma tradizionale, si ottiene il Preventivo di Spesa riportato nella seguente tabella 4.8:

Tab. 4.8: Preventivo di Spesa

Descrizione materiale	Quantità		Prezzo un.	Totale
Kit base - Smart Mesh Building	N.	1	€ 25,00	€ 25,00
Kit luce - Smart Mesh Building	N.	17	€ 19,00	€ 323,00
Presa 2P+T 10A 250V - Vimar Eikon art. 20201	N.	18	€ 4,32	€ 77,76
Presa 2P+T 16A 250V bipasso - Vimar Eikon art. 20203	N.	7	€ 5,95	€ 41,65
Pulsante a tirante 250V 10A - Vimar Eikon art. 20052	N.	1	€ 10,83	€ 10,83
Ronzatore 230V - Vimar Eikon art. 20378	N.	1	€ 19,07	€ 19,07
Suoneria 230V - Vimar Eikon art. 20373	N.	1	€ 24,68	€ 24,68
Torcia elettronica portatile - Vimar Eikon art. 20395	N.	2	€ 68,05	€ 136,10
Copriforo - Vimar Eikon art. 20041	N.	64	€ 0,79	€ 50,56
Passacavo con serracavo - Vimar Eikon art. 20044	N.	2	€ 1,59	€ 3,18
Scatola rettangolare da incasso unificata 3 moduli (GW 650°C) - Vimar V71303	N.	33	€ 0,27	€ 8,91
Supporto 3 moduli - Vimar Eikon art. 20613	N.	33	€ 1,09	€ 35,97
Placche 3 moduli - Vimar Eikon art. 20653.40 Reflex tecnopolimero	N.	42	€ 3,20	€ 134,40
Scatola di derivazione da incasso con coperchio bianco e viti di fissaggio. Dimensioni 287x154x70 mm - Vimar V70007	N.	4	€ 3,12	€ 12,48
FK15N tubo nero FL 3321 d.20	m	276,55	€ 0,30	€ 82,97
N07V-K 1,5mmq rossa cordina antifiamma	m	154,25	€ 0,22	€ 33,94
N07V-K 1,5mmq nera cordina antifiamma	m	26,1	€ 0,22	€ 5,74
N07V-K 1,5mmq marrone cordina antifiamma	m	16,1	€ 0,22	€ 3,54
N07V-K 1,5mmq blu cordina antifiamma	m	165,45	€ 0,22	€ 36,40
N07V-K 1,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m	165,45	€ 0,22	€ 36,40
N07V-K 2,5mmq marrone cordina antifiamma	m	81,9	€ 0,36	€ 29,48
N07V-K 2,5mmq blu cordina antifiamma	m	81,9	€ 0,36	€ 29,48
N07V-K 2,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m	81,9	€ 0,36	€ 29,48
N07V-K 4,0mmq marrone cordina antifiamma	m	24,3	€ 0,57	€ 13,85
N07V-K 4,0mmq blu cordina antifiamma	m	24,3	€ 0,57	€ 13,85
N07V-K 4,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m	24,3	€ 0,57	€ 13,85
N07V-K 6,0mmq nera cordina antifiamma	m	1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq blu cordina antifiamma	m	1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m	1	€ 0,83	€ 0,83
Sezionatore 32A - Bticino BTDIN F72N/32N (1 modulo)	N.	1	€ 15,07	€ 15,07
Spia luminosa 230V - Bticino BTDIN F40V (1 modulo)	N.	1	€ 13,44	€ 13,44
Interruttore magnetotermico differenziale 25A Id=0,03A - Bticino BTDIN	N.	1	€ 62,18	€ 62,18

G8130/25AC (4 moduli)			
Interruttore magnetotermico 16A - Bticino BTDIN F810N/16 (2 moduli)	N. 1	€ 16,72	€ 16,72
Interruttore magnetotermico 10A - Bticino BTDIN F810N/10 (2 moduli)	N. 2	€ 16,72	€ 33,44
Centralino da incasso con portello trasparente, 12 moduli, completo di scatola di incasso - Vimar V52412	N. 1	€ 14,71	€ 14,71
Totale		**€**	**1.390,63**

Descrizione	Quantità	Prezzo un.	Totale
Manodopera elettrica	h 18,06	€ 30,00	€ 541,75

Materiale + Manodopera elettrica	€ 1.932,38

Descrizione	Totale
Opere murarie	€ 794,66

TOTALE	**€ 2.727,04**

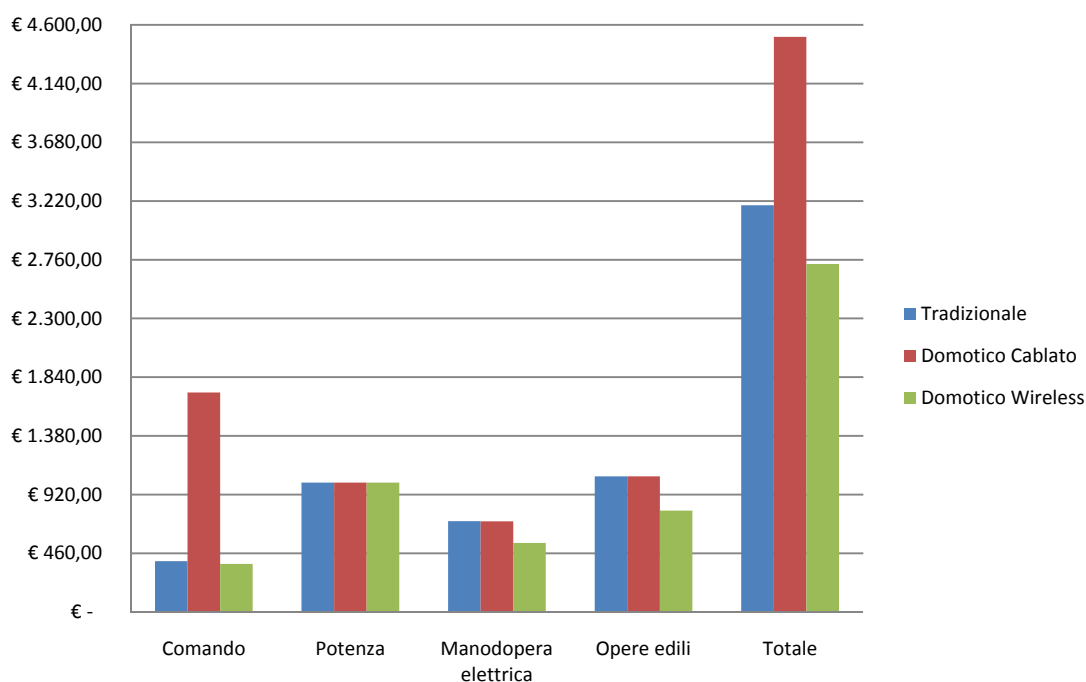
La spesa totale è inferiore alle soluzioni precedenti, e più precisamente di € 459,94 (14,43%) rispetto a quella analogica classica. Tale riduzione è dovuta a tre fattori:

- il costo minore dei cavi da impiegare per la diminuzione di lunghezza;
- la manodopera elettrica è meno cara per la riduzione del tempo impiegato dall'installatore nell'eseguire il lavoro;
- come detto in precedenza, le inferiori opere edili occorrenti.

Se delle tre piattaforme consideriamo le spese del:

- circuito di comando;
- circuito di potenza;
- manodopera elettrica;
- assistenza edile

otteniamo il seguente grafico 4.1 di confronto, in cui per completezza sono rappresentate anche le spese totali degli impianti:

Graf. 4.1: *Differenze economiche tra le tre piattaforme*

In tabella 4.9 si riporta le differenze numeriche tra le tre tipologie:

Tab. 4.9	*Comando*	*Potenza*	*Manodopera elettrica*	*Opere edili*	*Totale*
Tradizionale	€ 398,83	€ 1.013,83	€ 712,00	€ 1.062,33	€ 3.186,98
Domotico Cablato	€ 1.719,40	€ 1.013,83	€ 710,25	€ 1.062,33	€ 4.505,80
Domotico Wireless	€ 376,80	€ 1.013,83	€ 541,75	€ 794,66	€ 2.727,04

La soluzione che utilizza la domotica cablata è economicamente la più svantaggiosa: osservando infatti il grafico si nota che nelle 4 casistiche raffigurate è quasi sempre la più cara soprattutto nella parte di comando.
La piattaforma totalmente wireless è la più conveniente: presenta già nella parte di comando un leggero risparmio rispetto alla analogica classica, risparmio che diventa significativo nella manodopera elettrica e nelle opere edili.

Quest'ultima soluzione è sicuramente da preferire rispetto alle altre per l'aspetto economico ma anche per la interoperabilità introdotta. Con la soluzione classica descritta non si ha nessun tipo di automatizzazione dell'impianto che invece si ha con le piattaforme a BUS presentate. La tecnologia wireless è sicuramente la più versatile: basti pensare alla possibilità di poter spostare i vari comandi dell'impianto dove si vuole senza la necessità di modificare i cablaggi e senza operare alcuna modifica strutturale su pareti o pavimenti.
Se nell'abitazione l'utente cambia l'arredamento ad esempio del soggiorno, e nasce la necessità di spostare l'azionamento delle luci, può trasferire l'interruttore di accensione in qualsiasi punto del locale. Data la facilità dell'intervento non è necessario l'ausilio di operatori specializzati. E' possibile addirittura pensare di accendere e spegnere l'utenza con l'interruttore comodamente "in tasca" come si fa con il telecomando della TV. In qualsiasi momento si può aggiungere un dispositivo di comunicazione all'impianto, senza l'aggiunta di prese, connettori o altre predisposizioni.

4.2 PROGETTO DELL'IMPIANTO ELETTRICO DI UNA UNITA' ABITATIVA DI PICCOLA GRANDEZZA

Si vuole verificare se si ottengono, tra le tre piattaforme analizzate per il quadrilocale precedente, le medesime diversità. Per questo motivo si studia un monolocale che presenta le seguenti caratteristiche:

Superficie	
Locale	**m^2**
Soggiorno con angolo cottura	32,94
Disimpegno	3,24
Bagno	4,71
Totale	**40,89**
Balcone	3,88

Le dotazioni dell'appartamento sono di seguito riportate in tabella 4.10; per quanto riguarda il quadro generale esso resta invariato rispetto all'unità abitativa già studiata e quindi si rimanda alla precedente figura 4.1.

Tab. 4.10: Dotazioni previste nell'abitazione		
Locale	**Illuminazione**	**Servizi vari**
Soggiorno con angolo cottura	N. 1 Punto luce a soffitto comandato da 1 punto N. 1 Punto luce a soffitto comandato da 2 punti N. 1 Punto luce a parete (h=225cm) comandato da 2 punti	N. 5 Presa 2P+T 16/10A N. 4 Presa 2P+T 10A N. 1 Suoneria ingresso N. 1 Ronzatore bagno
Disimpegno	N. 1 Punto luce a soffitto comandato da 2 punti	
Bagno	N. 1 Punto luce a parete (h=190cm) comandato da 1 punto N. 1 Punto luce a soffitto comandato da 1 punto	N. 2 Presa 2P+T 16/10A N. 1 Pulsante a tirante
Balcone	N. 1 Punto luce a parete (h=230cm) comandato da 1 punto	N. 1 Presa 2P+T 10A

La stessa modalità di procedere e le stesse scelte impiegate per la soluzione abitativa precedente vengono ora seguite per lo studio delle tre piattaforme, analogica classica di tipo cablato, a Bus di tipo cablato e totalmente wireless, del monolocale. Si riportano, quindi, solamente le tavole e i preventivi di spesa ottenuti per poi concentrarsi sull'analisi dei risultati.

4.2.1 PIATTAFORMA TRADIZIONALE

Nella tavola 4.13 è descritta la localizzazione degli organi di comando, delle prese, dei punti luce e dei centri di potenza.
La tavola 4.14 riporta lo schema topografico della distribuzione dell'impianto luce e la 4.15 della distribuzione dell'impianto da 10A e da 16A su cui sono specificate le lunghezze dei cavi occorrenti.

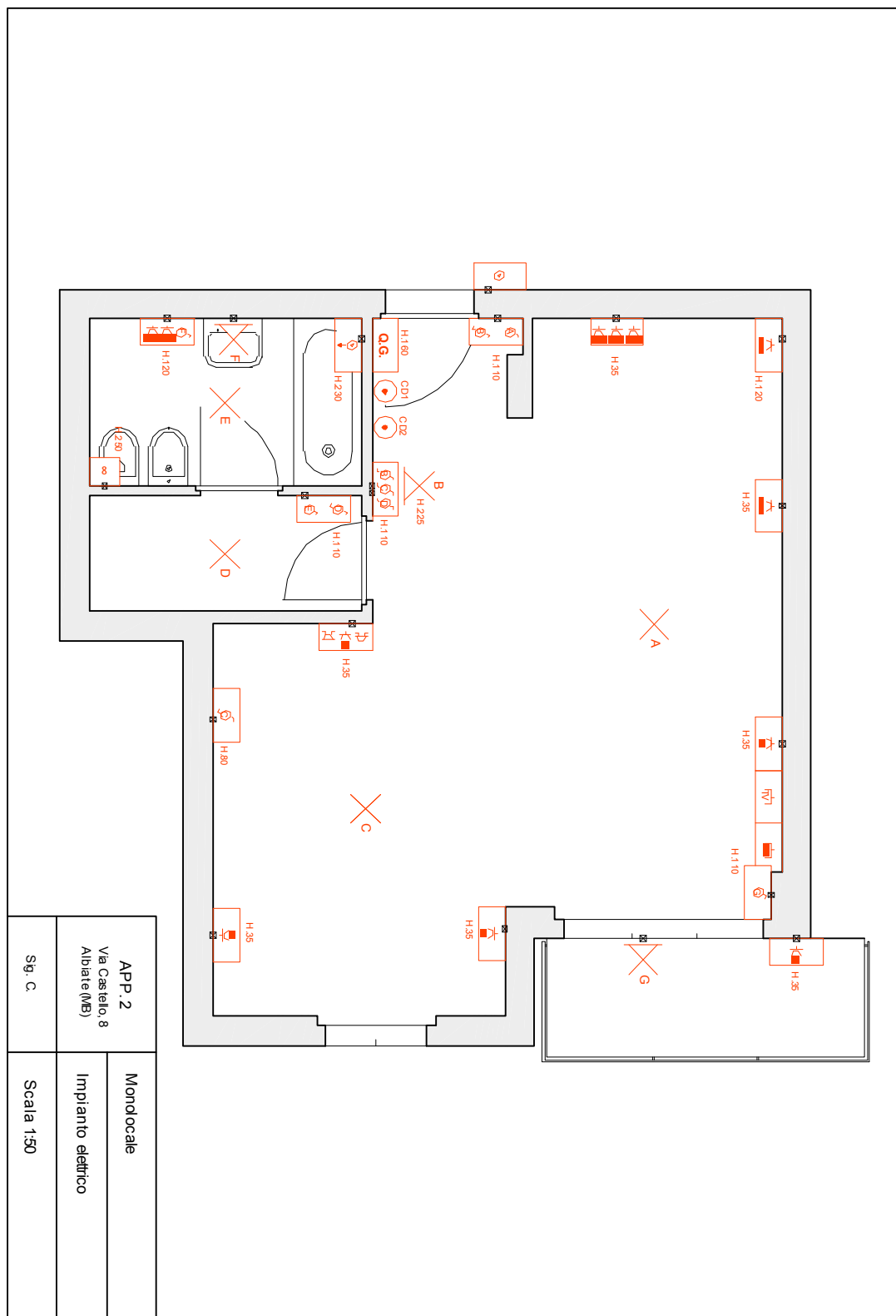
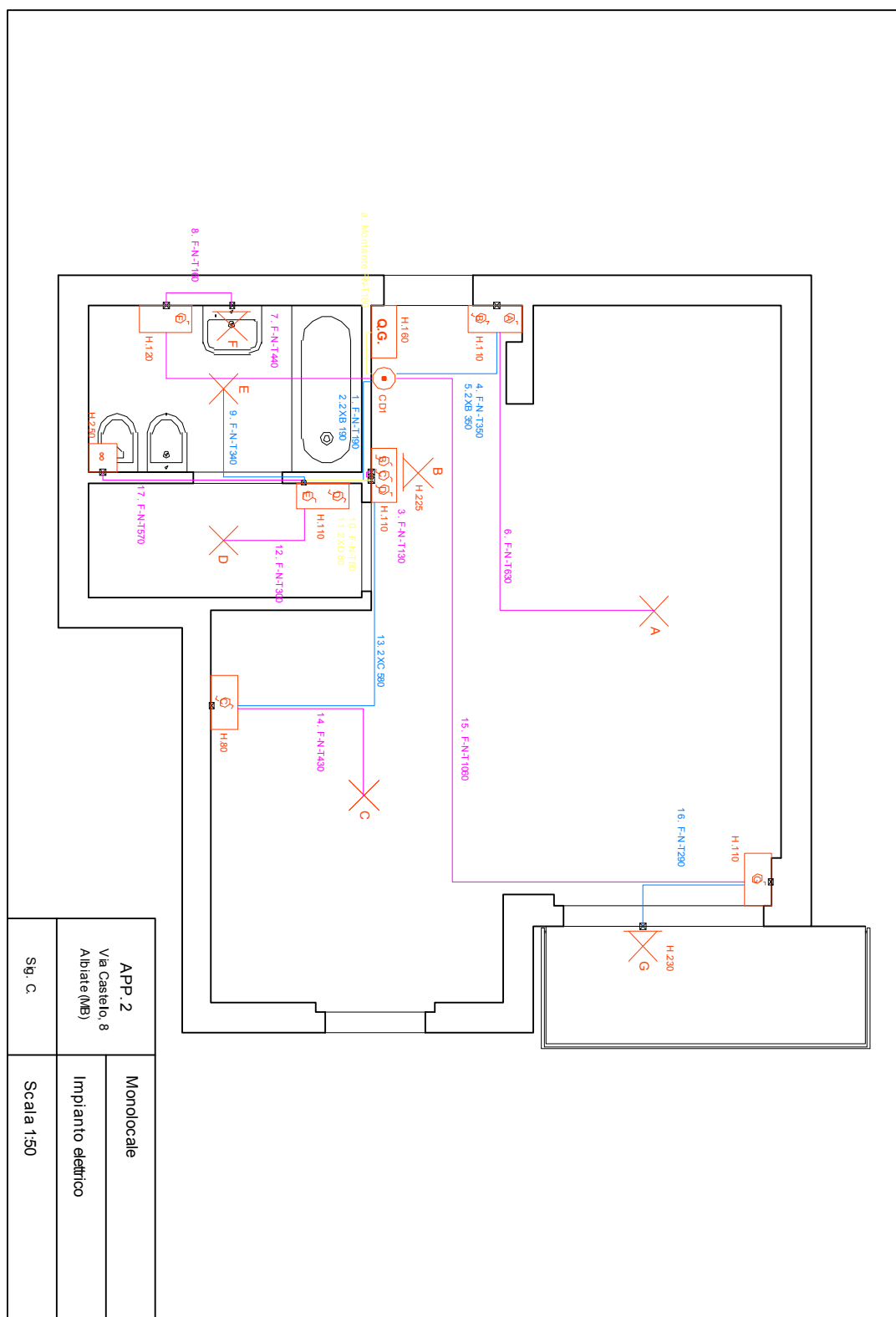
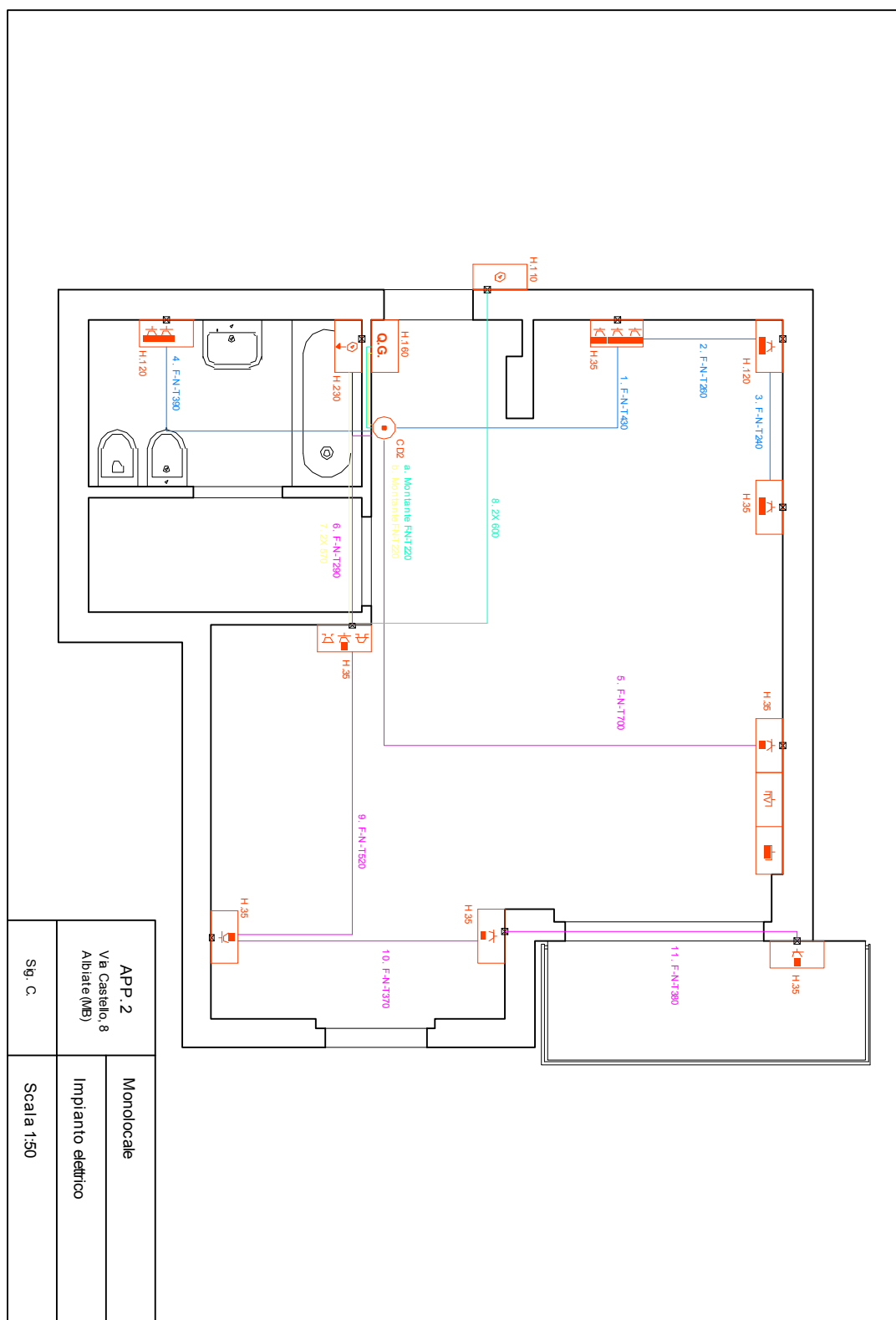
TAVOLA 4.13

APP. 2
Via Castello, 8
Albiate (MB)
Sig. C.
Monolocale
Impianto elettrico
Scala 1:50
Q.G.

TAVOLA 4.14

APP. 2
Via Castello, 8
Albiate (MB)
Sig. C.
Monolocale
Impianto elettrico
Scala 1:50

TAVOLA 4.15

APP. 2
Via Castello, 8
Albiate (MB)
Sig. C.
Monolocale
Impianto elettrico
Scala 1:50
Q.G.
H.160
H.110
H.120
H.230
H.35
CD2
1. F-N-T430
2. F-N-T260
3. F-N-T240
4. F-N-T390
5. F-N-T700
6. F-N-T290
8. 2X 600
9. F-N-T520
10. F-N-T370
11. F-N-T380
a. Montante FN-T220

Con le modalità e i materiali descritti precedentemente si consegue il preventivo di spesa riportato in tabella 4.11.

Tab. 4.11: Preventivo di Spesa

Descrizione materiale	Quantità		Prezzo un.		Totale	
Interruttore unipolare 250V 16A - Vimar Eikon art. 20001	N.	4	€	5,92	€	23,68
Deviatore unipolare 250V 16A - Vimar Eikon art. 20005	N.	6	€	7,16	€	42,96
Pulsante unipolare 250V 10A - Vimar Eikon art. 20008	N.	1	€	5,78	€	5,78
Presa 2P+T 10A 250V - Vimar Eikon art. 20201	N.	5	€	4,32	€	21,60
Presa 2P+T 16A 250V bipasso - Vimar Eikon art. 20203	N.	7	€	5,95	€	41,65
Pulsante a tirante 250V 10A - Vimar Eikon art. 20052	N.	1	€	10,83	€	10,83
Ronzatore 230V - Vimar Eikon art. 20378	N.	1	€	19,07	€	19,07
Suoneria 230V - Vimar Eikon art. 20373	N.	1	€	24,68	€	24,68
Copriforo - Vimar Eikon art. 20041	N.	22	€	0,79	€	17,38
Scatola rettangolare da incasso unificata 3 moduli (GW 650°C) - Vimar V71303	N.	16	€	0,27	€	4,32
Supporto 3 moduli - Vimar Eikon art. 20613	N.	16	€	1,09	€	17,44
Placche 3 moduli - Vimar Eikon art. 20653.40 Reflex tecnopolimero	N.	16	€	3,20	€	51,20
Scatola di derivazione da incasso con coperchio bianco e viti di fissaggio. Dimensioni 287x154x70 mm - Vimar V70007	N.	2	€	3,12	€	6,24
FK15N tubo nero FL 3321 d.20	m	109,2	€	0,30	€	32,76
N07V-K 1,5mmq rossa cordina antifiamma	m	72,3	€	0,22	€	15,91
N07V-K 1,5mmq nera cordina antifiamma	m	23,7	€	0,22	€	5,21
N07V-K 1,5mmq marrone cordina antifiamma	m	23,7	€	0,22	€	5,21
N07V-K 1,5mmq blu cordina antifiamma	m	72,3	€	0,22	€	15,91
N07V-K 1,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m	72,3	€	0,22	€	15,91
N07V-K 2,5mmq rossa cordina antifiamma	m	17,2	€	0,36	€	6,19
N07V-K 2,5mmq blu cordina antifiamma	m	17,2	€	0,36	€	6,19
N07V-K 2,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m	17,2	€	0,36	€	6,19
N07V-K 4,0mmq marrone cordina antifiamma	m	2,2	€	0,57	€	1,25
N07V-K 4,0mmq blu cordina antifiamma	m	2,2	€	0,57	€	1,25
N07V-K 4,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m	2,2	€	0,57	€	1,25
N07V-K 6,0mmq nera cordina antifiamma	m	1	€	0,83	€	0,83
N07V-K 6,0mmq blu cordina antifiamma	m	1	€	0,83	€	0,83
N07V-K 6,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m	1	€	0,83	€	0,83
Sezionatore 32A - Bticino BTDIN F72N/32N (1 modulo)	N.	1	€	15,07	€	15,07
Spia luminosa 230V - Bticino BTDIN F40V (1 modulo)	N.	1	€	13,44	€	13,44
Interruttore magnetotermico differenziale 25A Id=0,03A - Bticino BTDIN G8130/25AC (4 moduli)	N.	1	€	62,18	€	62,18
Interruttore magnetotermico 16A - Bticino BTDIN F810N/16 (2 moduli)	N.	1	€	16,72	€	16,72
Interruttore magnetotermico 10A - Bticino BTDIN F810N/10 (2 moduli)	N.	2	€	16,72	€	33,44
Centralino da incasso con portello trasparente, 12 moduli, completo di scatola di incasso - Vimar V52412	N.	1	€	14,71	€	14,71
Totale materiale			**€**			**558,12**

Descrizione	Quantità		Prezzo un.		Totale	
Manodopera elettrica	h	9,58	€	30,00	€	287,50

Materiale + Manodopera elettrica	€	845,62

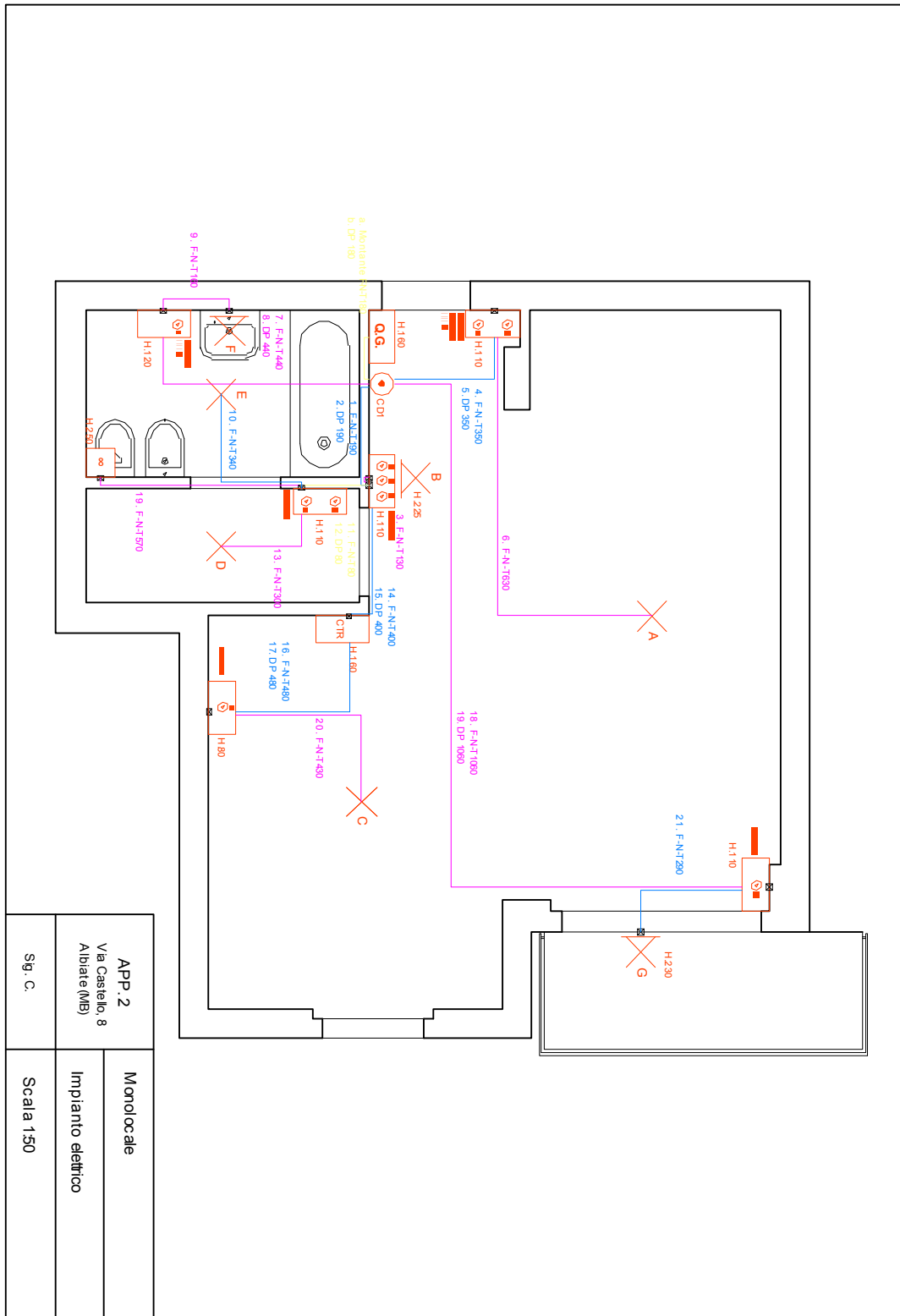
Descrizione	Totale	
Opere murarie	€	422,81

TOTALE	**€**	**1.268,44**

4.2.2 PIATTAFORMA A BUS DI TIPO CABLATO

La localizzazione degli organi di comando, delle prese, dei punti luce e dei centri di potenza è invariata rispetto alla piattaforma tradizionale quindi si rimanda alla tavola 4.13.
Rimane invariata la distribuzione del circuito di potenza delle prese da 10 e da 16 A rappresentate nella precedente tavola 4.15.
La distribuzione del circuito di comando, impianto luce, si modifica come riportato in tavola 4.16.

TAVOLA 4.16

APP. 2
Via Castello, 8
Albiate (MB)
Sig. C.
Monolocale
Impianto elettrico
Scala 1:50

Si ricava il Preventivo di Spesa descritto nella sottostante tabella 4.12:

Tab. 4.12: Preventivo di Spesa

Descrizione materiale	Quantità		Prezzo un.	Totale
Centrale di controllo 2 moduli - Vimar Eikon art. 20510	N.	1	221,88	€ 221,88
Due pulsanti basculanti ed attuatore con uscita a relè in scambio 8 A 120-230 V, da completare con tasto - 2 moduli Vimar Eikon art. 20526	N.	6	€ 57,44	€ 344,64
Tre pulsanti basculanti ed attuatore con uscita a relè in scambio 8 A 120-230 V, da completare con tasto - 3 moduli Vimar Eikon art. 20546	N.	1	€ 86,88	€ 86,88
Pulsante unipolare 250V 10A - Vimar Eikon art. 20008	N.	1	€ 5,78	€ 5,78
Presa 2P+T 10A 250V - Vimar Eikon art. 20201	N.	5	€ 4,32	€ 21,60
Presa 2P+T 16A 250V bipasso - Vimar Eikon art. 20203	N.	7	€ 5,95	€ 41,65
Pulsante a tirante 250V 10A - Vimar Eikon art. 20052	N.	1	€ 10,83	€ 10,83
Ronzatore 230V - Vimar Eikon art. 20378	N.	1	€ 19,07	€ 19,07
Suoneria 230V - Vimar Eikon art. 20373	N.	1	€ 24,68	€ 24,68
Copriforo - Vimar Eikon art. 20041	N.	19	€ 0,79	€ 15,01
Tasto neutro per pulsanti basculanti - Vimar Eikon art. 20531.S	N.	15	€ 2,38	€ 35,70
Scatola rettangolare da incasso unificata 3 moduli (GW 650°C) - Vimar V71303	N.	14	€ 0,27	€ 3,78
Supporto 3 moduli - Vimar Eikon art. 20613	N.	14	€ 1,09	€ 15,26
Placche 3 moduli - Vimar Eikon art. 20653.40 Reflex tecnopolimero	N.	14	€ 3,20	€ 44,80
Scatola rettangolare da incasso unificata 4 moduli (GW 650°C) - Vimar V71304	N.	2	€ 1,08	€ 2,16
Supporto 4 moduli - Vimar Eikon art. 20614	N.	2	€ 1,38	€ 2,76
Placche 4 moduli - Vimar Eikon art. 20654.40 Reflex tecnopolimero	N.	2	€ 4,80	€ 9,60
Scatola di derivazione da incasso con coperchio bianco e viti di fissaggio. Dimensioni 287x154x70 mm - Vimar V70007	N.	2	€ 3,12	€ 6,24
FK15N tubo nero FL 3321 d.20	m	106,5	€ 0,30	€ 31,95
Morsetto estraibile a 2 poli a viti per circuito BUS - Vimar art.01839	N.	8	€ 0,82	€ 6,56
Cavo per sistemi bus 2x0,50 mmq, con guaina LSZH tensione nominale 300/500 V - 100 m - Vimar art. 01840	m	31,8	€ 0,56	€ 17,81
N07V-K 1,5mmq rossa cordina antifiamma	m	75,4	€ 0,22	€ 16,59
N07V-K 1,5mmq nera cordina antifiamma	m	11,7	€ 0,22	€ 2,57
N07V-K 1,5mmq marrone cordina antifiamma	m	11,7	€ 0,22	€ 2,57
N07V-K 1,5mmq blu cordina antifiamma	m	75,4	€ 0,22	€ 16,59
N07V-K 1,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m	75,4	€ 0,22	€ 16,59
N07V-K 2,5mmq marrone cordina antifiamma	m	17,2	€ 0,36	€ 6,19
N07V-K 2,5mmq blu cordina antifiamma	m	17,2	€ 0,36	€ 6,19
N07V-K 2,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m	17,2	€ 0,36	€ 6,19
N07V-K 4,0mmq marrone cordina antifiamma	m	2,2	€ 0,57	€ 1,25
N07V-K 4,0mmq blu cordina antifiamma	m	2,2	€ 0,57	€ 1,25
N07V-K 4,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m	2,2	€ 0,57	€ 1,25
N07V-K 6,0mmq nera cordina antifiamma	m	1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq blu cordina antifiamma	m	1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m	1	€ 0,83	€ 0,83
Sezionatore 32A - Bticino BTDIN F72N/32N (1 modulo)	N.	1	€ 15,07	€ 15,07
Spia luminosa 230V - Bticino BTDIN F40V (1 modulo)	N.	1	€ 13,44	€ 13,44
Interruttore magnetotermico differenziale 25A Id=0,03A - Bticino BTDIN G8130/25AC (4 moduli)	N.	1	€ 62,18	€ 62,18
Interruttore magnetotermico 16A - Bticino BTDIN F810N/16 (2 moduli)	N.	1	€ 16,72	€ 16,72
Interruttore magnetotermico 10A - Bticino BTDIN F810N/10 (2 moduli)	N.	2	€ 16,72	€ 33,44
Centralino da incasso con portello trasparente, 24 moduli, completo di scatola di incasso - Vimar V52424	N.	1	€ 32,09	€ 32,09
Alimentatore con uscita 29 V d.c. 800 mA, alimentazione 120-230 V 50-60 Hz, installazione su guida EN 50022, 9 moduli - Vimar art.01801	N.	1	€ 193,86	€ 193,86
Totale			**€**	**1.193,30**

Descrizione	Quantità		Prezzo un.	Totale
Manodopera elettrica	h	10,34	€ 30,00	€ 310,25

Materiale + Manodopera elettrica	€	1.503,55

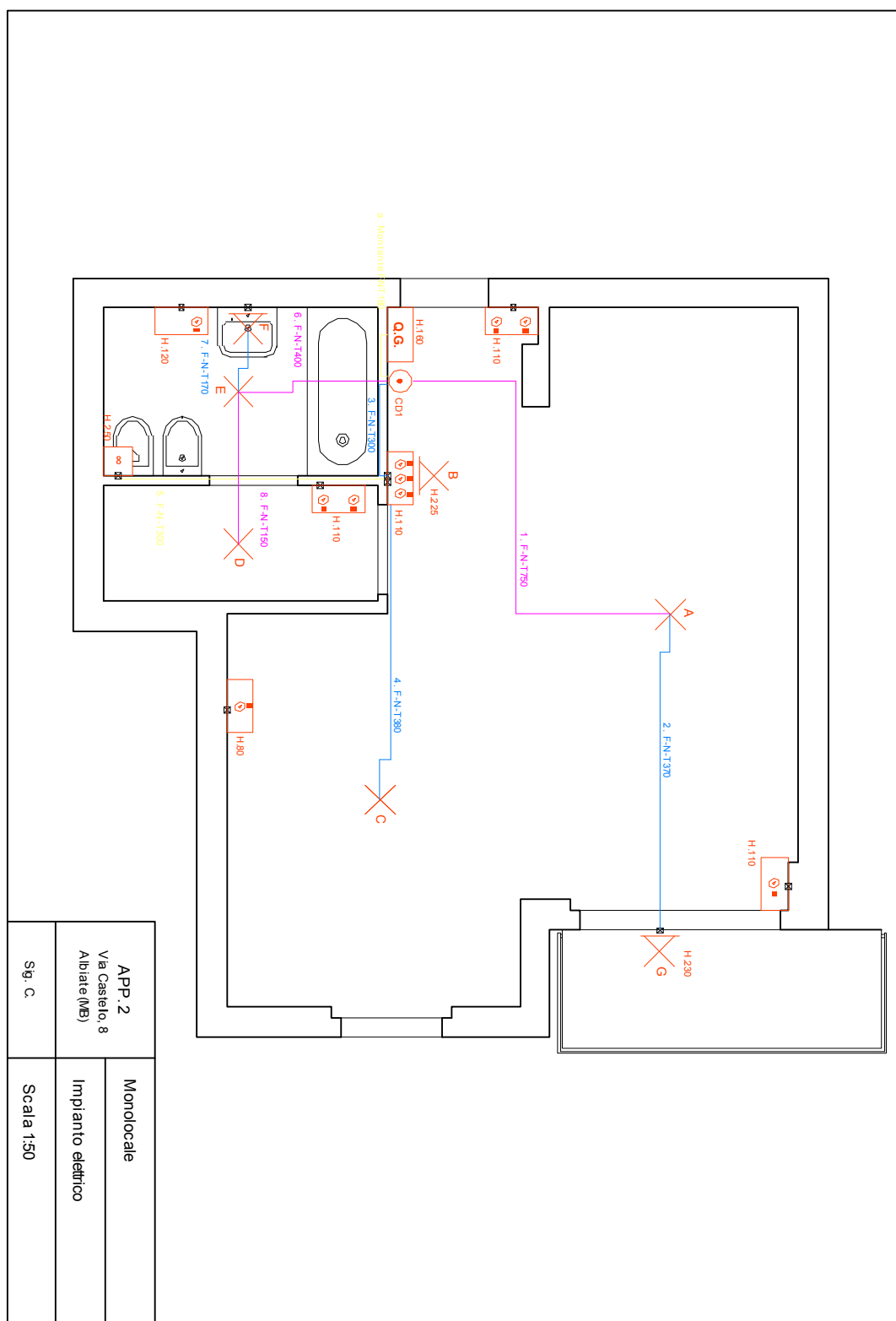
Descrizione	Totale	
Opere murarie	€	422,81

TOTALE	**€**	**1.926,36**

4.2.3 PIATTAFORMA WIRELESS

La tavola 4.13 è di nuovo valida per la localizzazione degli organi di comando, delle prese, dei punti luce e dei centri di potenza.
Anche la tavola 4.15, rappresentante la distribuzione del circuito di potenza delle prese da 10 e da 16 A, non si modifica.
Cambia il materiale di comando da impiegare, in particolare dell’impianto luce ed infatti nella tavola 4.17 viene rappresentata la nuova distribuzione del circuito di comando.

TAVOLA 4.17

APP. 2
Via Castello, 8
Albiate (MB)
Sig. C.
Monolocale
Impianto elettrico
Scala 1:50
Q.G.
CD1
1. F-N-T750
2. F-N-T370
3. F-N-T300
4. F-N-T380
6. F-N-T400
7. F-N-T170
8. F-N-T150
A
B
C
D
E
F
G
H.160
H.110
H.120
H.250
H.225
H.80
H.230

La riduzione della spesa edile è in questo caso del 25% sulla tradizionale, si ottiene il Preventivo di Spesa riportato nella seguente tabella 4.13:

Tab. 4.13: Preventivo di Spesa

Descrizione materiale	Quantità	Prezzo un.	Totale
Kit base - Smart Mesh Building	N. 1	€ 25,00	€ 25,00
Kit luce - Smart Mesh Building	N. 2	€ 76,00	€ 152,00
Presa 2P+T 10A 250V - Vimar Eikon art. 20201	N. 5	€ 4,32	€ 21,60
Presa 2P+T 16A 250V bipasso - Vimar Eikon art. 20203	N. 7	€ 5,95	€ 41,65
Pulsante a tirante 250V 10A - Vimar Eikon art. 20052	N. 1	€ 10,83	€ 10,83
Ronzatore 230V - Vimar Eikon art. 20378	N. 1	€ 19,07	€ 19,07
Suoneria 230V - Vimar Eikon art. 20373	N. 1	€ 24,68	€ 24,68
Copriforo - Vimar Eikon art. 20041	N. 17	€ 0,79	€ 13,43
Scatola rettangolare da incasso unificata 3 moduli (GW 650°C) - Vimar V71303	N. 11	€ 0,27	€ 2,97
Supporto 3 moduli - Vimar Eikon art. 20613	N. 11	€ 1,09	€ 11,99
Placche 3 moduli - Vimar Eikon art. 20653.40 Reflex tecnopolimero	N. 17	€ 3,20	€ 54,40
Scatola di derivazione da incasso con coperchio bianco e viti di fissaggio. Dimensioni 287x154x70 mm - Vimar V70007	N. 2	€ 3,12	€ 6,24
FK15N tubo nero FL 3321 d.20	m 81,9	€ 0,30	€ 24,57
N07V-K 1,5mmq rossa cordina antifiamma	m 50,8	€ 0,22	€ 11,18
N07V-K 1,5mmq nera cordina antifiamma	m 11,7	€ 0,22	€ 2,57
N07V-K 1,5mmq marrone cordina antifiamma	m 11,7	€ 0,22	€ 2,57
N07V-K 1,5mmq blu cordina antifiamma	m 50,8	€ 0,22	€ 11,18
N07V-K 1,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m 50,8	€ 0,22	€ 11,18
N07V-K 2,5mmq marrone cordina antifiamma	m 17,2	€ 0,36	€ 6,19
N07V-K 2,5mmq blu cordina antifiamma	m 17,2	€ 0,36	€ 6,19
N07V-K 2,5mmq giallo/verde cordina antifiamma	m 17,2	€ 0,36	€ 6,19
N07V-K 4,0mmq marrone cordina antifiamma	m 2,2	€ 0,57	€ 1,25
N07V-K 4,0mmq blu cordina antifiamma	m 2,2	€ 0,57	€ 1,25
N07V-K 4,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m 2,2	€ 0,57	€ 1,25
N07V-K 6,0mmq nera cordina antifiamma	m 1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq blu cordina antifiamma	m 1	€ 0,83	€ 0,83
N07V-K 6,0mmq giallo-verde cordina antifiamma	m 1	€ 0,83	€ 0,83
Sezionatore 32A - Bticino BTDIN F72N/32N (1 modulo)	N. 1	€ 15,07	€ 15,07
Spia luminosa 230V - Bticino BTDIN F40V (1 modulo)	N. 1	€ 13,44	€ 13,44
Interruttore magnetotermico differenziale 25A Id=0,03A - Bticino BTDIN G8130/25AC (4 moduli)	N. 1	€ 62,18	€ 62,18
Interruttore magnetotermico 16A - Bticino BTDIN F810N/16 (2 moduli)	N. 1	€ 16,72	€ 16,72
Interruttore magnetotermico 10A - Bticino BTDIN F810N/10 (2 moduli)	N. 2	€ 16,72	€ 33,44
Centralino da incasso con portello trasparente, 12 moduli, completo di scatola di incasso - Vimar V52412	N. 1	€ 14,71	€ 14,71
Totale		**€**	**627,49**

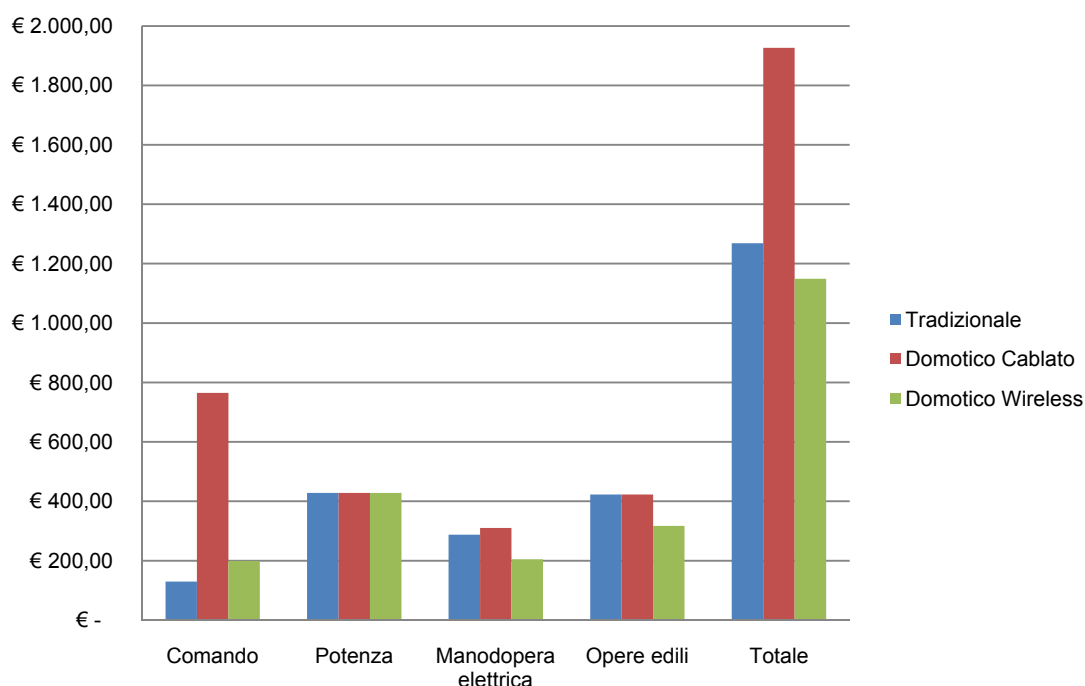
Descrizione	Quantità	Prezzo un.	Totale
Manodopera elettrica	h 6,82	€ 30,00	€ 204,50

Materiale + Manodopera elettrica	€ 831,99

Descrizione	Totale
Opere murarie	€ 317,11

TOTALE	**€ 1.149,10**

Per il monolocale studiato il grafico 4.2 di confronto diviene:

Graf. 4.2: *Differenze economiche tra le tre piattaforme*

La tabella 4.14 sottolinea numericamente le differenze tra le tre piattaforme:

Tab. 4.14	*Comando*	*Potenza*	*Manodopera elettrica*	*Opere edili*	*Totale*
Tradizionale	€ 129,95	€ 428,17	€ 287,50	€ 422,81	€ 1.268,44
Domotico Cablato	€ 765,12	€ 428,17	€ 310,25	€ 422,81	€ 1.926,36
Domotico Wireless	€ 199,32	€ 428,17	€ 204,50	€ 317,11	€ 1.149,10

Come si nota graficamente e in modo specifico dalla tabella 4.14, con una tipologia abitativa di taglia inferiore, monolocale, come per lo studio precedente, il costo della piattaforma wireless risulta globalmente il più vantaggioso. Mentre la piattaforma a Bus cablata continua in ogni caso ad

essere la più onerosa, sempre naturalmente per gli alti costi del materiale di comando.
Esaminando più nel dettaglio le singole voci, il costo delle apparecchiature di comando della piattaforma wireless è maggiore della tradizionale, al contrario dello studio precedente. Però la diminuzione dei costi di installazione elettrica e delle opere edili, permettono ugualmente sul totale della prestazione, di conseguire un risparmio con la soluzione wireless di € 119,33 (9,41%) rispetto alla piattaforma analogica classica.
Questo risparmio è diventato meno cospicuo rispetto alla soluzione abitativa studiata in precedenza.
Si può affermare che la dimensione abitativa e quindi l'estensione e la complessità dell'impianto sono legati all'economia tra la piattaforma wireless e l'analogica classica. In particolare: più aumenta la grandezza dell'impianto e maggiore sarà il risparmio ottenibile con la piattaforma wireless rispetto a quella analogica classica; questo perché un impianto classico cablato più è grande e maggiore sarà la lunghezza dei cavi, il tempo impiegato dall'installatore nell'eseguire il lavoro e le opere edili occorrenti.
Infatti come già detto sono questi i tre fattori che consentono di far diventare meno costosa la piattaforma totalmente wireless.
Ad esempio considerando solo la spesa delle opere edili:

- con il monolocale il decremento della piattaforma wireless rispetto alla analogica classica è di € 105,70;
- con il quadrilocale diventa di € 267,67;

ciò per far osservare come l'aumento della grandezza dell'impianto comporta una maggiore economia.
La piattaforma totalmente wireless è dunque sempre più conveniente all'aumentare della dimensione dell'unità abitativa, cioè dell'impianto elettrico, ed è possibile impiegarla anche in campo terziario dove i risparmi possono diventare presumibilmente molto interessanti.

LEGENDA	
F-N-T 380	Tre conduttori di fase, neutro e terra da 380 cm ciascuno
N-T 340	Due conduttori di neutro e terra da 340 cm ciascuno
1X 1000	Un conduttore da 1000 cm
2X 350	Due conduttori da 350 cm ciascuno
2XA 120	Due conduttori da 120 cm per punto luce A
DP 700	Doppino da 700 cm
Q. G.	Quadro generale
CTR	Centrale di controllo
T	Tenda elettrica
3P+ATXP	Tre pulsanti basculanti con attuatore per punto luce P
2P+ATXL	Due pulsanti basculanti con attuatore per punto luce L
2P	Due pulsanti basculanti
4M	Cassetta da incasso 4 moduli
CD1	Cassetta di derivazione n.1

CAPITOLO 5

5
CONFRONTO FRA LE PIATTAFORME STUDIATE

Nel quarto capitolo sono state proposte tre differenti realizzazioni di impianti elettrici civili:

I. Piattaforma analogica classica di tipo cablato,
II. Piattaforma a bus di tipo cablato,
III. Piattaforma totalmente wireless.

Allo scopo di confrontare le tre soluzioni, per evidenziarne vantaggi e svantaggi, si procede a una prima analisi delle diversità tra impianto tradizionale e a bus per poi analizzare le differenze tra impianto cablato e senza fili.

Si vuole, quindi, mostrare le peculiarità di maggior pregio/difetto di ogni soluzione proposta al fine di sottolineare la diversità tra una soluzione pre-domotica, basata su una piattaforma analogica classica e una soluzione domotica, a bus.

5.1 IMPIANTI TRADIZIONALI E A BUS A CONFRONTO

Un impianto tradizionale è inevitabilmente caratterizzato da un'elevata complessità circuitale ed è strutturato in modo tale che ogni funzione fa riferimento ad un cablaggio separato e dedicato. Ciascun apparecchio di comando (ad esempio un interruttore) è direttamente collegato a tutte e sole le utenze elettriche (ad esempio le lampade) che deve attivare, disattivare o regolare.

Nei sistemi a Bus le utenze elettriche e i rispettivi apparecchi di comando, al contrario, non sono direttamente collegati. Le segnalazioni e i comandi vengono infatti inviati attraverso un mezzo di trasmissione, la linea bus, ed eseguiti, grazie a un codice di indirizzamento, dai soli dispositivi interessati. Tutti i componenti del sistema (apparecchi di comando, rilevatori di stato, utenze elettriche ecc.) sono quindi connessi, direttamente o attraverso opportuni dispositivi, al mezzo di trasmissione che è unico in tutto il sistema e che trasferisce comandi e segnalazioni da un componente all'altro.

Il cablaggio, nelle piattaforme analogiche classiche, è vincolante per le funzioni da realizzare e comporta un numero molto elevato di linee, e tutte di potenza. Ogni comando richiede una linea dedicata che arriva all'oggetto da comandare. Inoltre qualsiasi modifica, anche banale, comporta il rifacimento del cablaggio. La chiusura e l'apertura del circuito di comando è effettuata da un meccanismo inserito nel comando stesso.

Al contrario, con un sistema a bus il circuito di comando viene separato da quello di alimentazione di rete. Un relè per l'interruzione del circuito è presente nel dispositivo di attuazione, separato dai comandi e collegato direttamente all'utenza. Il bus collega in una rete i comandi e l'attuatore permettendo lo scambio di informazioni tra essi. Inoltre, in genere, l'alimentazione della parte elettronica dei dispositivi funziona con una

bassissima tensione di sicurezza. Ai comandi, e più in generale a tutti i sensori di un sistema bus, non si collega il cavo di alimentazione di rete ma si porta esclusivamente il segnale di scambio informazioni. Questo permette di avere un livello di sicurezza maggiore rispetto all'impianto tradizionale.
Le apparecchiature della piattaforma a bus, possono scambiarsi messaggi sulla rete di segnale bus, ciò permette non solo comandi di accensione e spegnimento delle utenze ma anche complessi compiti di controllo, regolazione, monitoraggio, supervisione e segnalazione.
Le stesse informazioni sono disponibili in ogni punto della rete bus: diventa possibile monitorare e comandare l'impianto ovunque nell'edificio e trasmettere e ricevere messaggi da remoto.
Per il funzionamento del sistema bus, occorre un'attività di programmazione dei dispositivi, generalmente inesistente per l'installazione tradizionale di impianti civili.
I circuiti di comando definiti "fisici" nell'impianto tradizionale diventano, nell'impianto a bus, "logici", ciò significa che il cablaggio non è più così vincolante per le funzioni da realizzare. Una volta effettuata la predisposizione mediante la linea bus, se si rende necessario un punto di comando aggiuntivo è sufficiente collegare l'apparecchio alla rete bus.
I sistemi tradizionali degli edifici, in cui si è manifestata l'esigenza di introdurre livelli crescenti di automazione degli impianti tecnici, sulla scorta di quanto avvenuto in precedenza nei settori industriale e di processo, sono solitamente basati su un'unità centrale dotata di connessioni elettriche dirette e spesso monodirezionali con tutti i sensori e attuatori presenti. Dunque si tende ad avere una centralizzazione dell'intelligenza necessaria, con un'unità centrale molto complessa e con sensori e attuatori privi di capacità elaborativa. Specialmente su fasce basse di prezzo un guasto della centralina significa l'interruzione del sistema e un guasto dei sensori e

attuatori viene difficilmente diagnosticato, a riduzione dell'affidabilità del sistema.
Il passaggio da un sistema tradizionale ad uno a bus consiste nel portare "al di fuori" della centralina le sue capacità di connessione ed elaborazione.
La rete a bus presenta un'intelligenza distribuita proprio perché è formata da dispositivi a microprocessore, dunque, a differenza dell'installazione tradizionale la presenza di centraline di controllo diventa facoltativa. Infatti è un sistema decentralizzato in cui ogni dispositivo svolge una parte dell'elaborazione richiesta in modo da distribuire le funzionalità su più unità indipendenti.
I sistemi a bus, quindi, sono più flessibili dei tradizionali, infatti è possibile modificare la funzionalità dell'impianto semplicemente variando la programmazione dei dispositivi o aggiungendone dei nuovi. Ad esempio: se in un determinato ambiente, un ufficio, viene trasformato in sala riunioni, l'unica cosa da cambiare dal punto di vista dell'impianto elettrico è la configurazione dei dispositivi del sistema bus in quanto il cablaggio è esattamente lo stesso.
I vari impianti che equipaggiano la casa, come l'illuminazione, il riscaldamento, o l'azionamento motorizzato delle tapparelle, con la piattaforma analogica classica sono progettati e realizzati separatamente e gestiti da sistemi diversi. Questi sistemi da funzioni di comando manuale, con l'impiego di dispositivi elettronici, possono svolgere funzioni automatiche però isolate. Oltre agli impianti d'automazione e controllo in una casa si hanno anche impianti di comunicazione, d'allarme, d'intrattenimento, ecc. Una casa configurata con funzioni automatiche ma isolate si può definire pre-domotica.
Un'altra grossa diversità, dunque, tra un impianto tradizionale e a bus è proprio la capacità di integrazione.

E' possibile individuare almeno quattro contesti di reti domestiche tra loro non connesse (figura 5.1):

I. Informazione e comunicazione (I/C): collegamento di PC, periferiche, telefoni e altre apparecchiature di comunicazione;
II. Intrattenimento (A/V): collegamento point-to-point di TV, consoles di gioco, videoregistratori, HiFi;
III. Automazione e controllo (A/C): collegamento d'impianto di illuminazione, riscaldamento e aria condizionata, gestione dell'energia e degli elettrodomestici;
IV. Sicurezza (Sec): collegamento di sensori (antintrusione, antincendio, rilevamento allagamenti), videocamere e sistemi d'allarme.

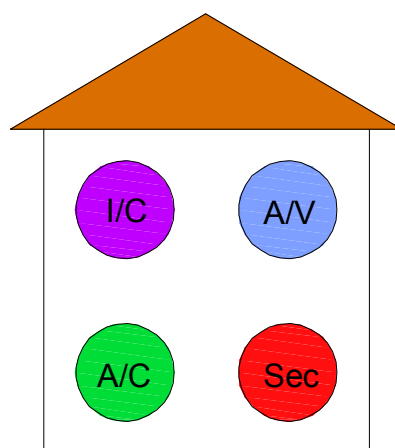



Fig. 5.1: Reti domestiche in un'abitazione.

Con la tecnologia tradizionale le varie funzioni vengono svolte da apparecchi che non dialogano fra loro, quindi, la gestione integrata e coordinata delle varie reti domestiche non è possibile e l'interfacciamento dei vari sistemi, ammesso che sia realizzabile, comporta costi insostenibili per un impianto residenziale.

Nel sistema bus, invece, le varie apparecchiature possono comunicare tra loro. Si rende, dunque, possibile la realizzazione di funzioni che coinvolgono

contemporaneamente diversi dispositivi generando così l'interazione tra più sistemi. Un esempio pratico può essere l'interazione dei comandi luce con l'impianto antifurto: quando si inserisce l'impianto antifurto si può scegliere di inviare un comando di spegnimento a tutto il sistema d'illuminazione in modo tale da essere sicuri che tutte le lampade siano spente, mentre in caso d'allarme di accendere tutte le luci della zona allarmata.

Con impianti in grado di comunicare e, quindi, di integrarsi si ha il passaggio da prodotti e soluzioni stand-alone (singole, isolate) a prodotti e soluzioni interoperabili.

L'interazione, o per meglio dire l'integrazione, dei diversi dispositivi e delle diverse funzioni è quindi agevolata con i sistemi Bus. Questi consentono ai vari impianti di un edificio, illuminazione, climatizzazione, sicurezza, antintrusione, controllo accessi, automatismi e così via, di diventare un sistema "unico" in cui si riducono i costi d'esercizio e quindi i consumi energetici.

Si riassume nella tabella 5.1 le differenze principali tra l'installazione tradizionale e "intelligente".

Tab. 5.1: Differenze tra piattaforma analogica classica e a bus

Installazione tradizionale	Installazione a bus
Cablaggio punto a punto	Cablaggio libero su linea dedicata (bus)
Maggiore complessità e quantità di cavi	Minore complessità e quantità di cavi
Presenza di un quadro e/o centralina di controllo (Centralizzazione dell'intelligenza)	Assenza di centraline di controllo (facoltative) (Intelligenza distribuita)
Dispositivi dedicati ad una sola applicazione	Dispositivi con applicazione configurabile
Rischio di contatto diretto nei dispositivi di comando	Possibilità di operare sui dispositivi di comando sottotensione SELV
Inter-operatività stabilita dal cablaggio	Inter-operatività flessibile e configurabile
Scarsa affidabilità	Maggiore affidabilità
Limitate capacità d'integrazione	Capacità di integrazione
Sistema centralizzato	Sistema decentralizzato

5.2 IMPIANTI CABLATI E WIRELESS A CONFRONTO

Accedere alla rete aziendale via radio col portatile, navigare in Internet col proprio smartphone, comandare e gestire gli elettrodomestici di casa o complesse macchine industriali senza fili, diventeranno presto operazioni abituali. Già oggi sono possibili grazie alle tecnologie di interconnessione wireless.

Il termine wireless identifica appunto i sistemi di comunicazione di dati e voce fra apparecchi elettronici in modo “senza fili”. Si tratta di un’innovazione rivoluzionaria rispetto alle tradizionali comunicazioni su filo.

Basti pensare a quale cambiamento epocale ha portato l’avvento della telefonia cellulare.

In questi ultimi anni i sistemi di connessione senza fili hanno avuto una così rapida evoluzione nel campo della comunicazione dati e voce, da contrapporsi con forza alle soluzioni cablate. Soprattutto grazie all’introduzione di una nuova interessante opportunità: la comunicazione dati, possibile grazie alle tecniche a spettro espanso (Spread Spectrum), nate per scopi militari, e all’uso di onde a spettro infrarosso.

Esistono, infatti, due famiglie di connessioni senza fili:

- via infrarosso (IR),
- e via radiofrequenza (RF).

Da notare innanzitutto, che le onde a spettro infrarosso (come la luce visibile) sono assorbite dagli oggetti, mentre le onde radio si possono propagare anche attraverso ostacoli. Soprattutto per questo motivo, le onde radio vengono più utilizzate in ambito domotico.

Si può utilizzare la tecnologia in radiofrequenza nelle case, nelle aziende, nei luoghi pubblici, ecc.

In particolare negli impianti elettrici civili un primo punto di forza degli impianti wireless rispetto ai cablati è il mezzo trasmissivo che non si guasta. Quello che non c'è non si rompe, i cavi e i connettori infatti, si possono accidentalmente rompere, rovinare, disconnettendo i nodi (stazioni) della rete o creando disagi alla rete stessa.
Con gli impianti wireless si consegue una riduzione del cablaggio che comporta:

- un risparmio economico sui cavi e sulle opere di installazione sia elettriche che edili;
- una maggiore semplicità d'installazione perché non si devono installare e collegare cavi, un sistema senza fili è immediatamente operativo.

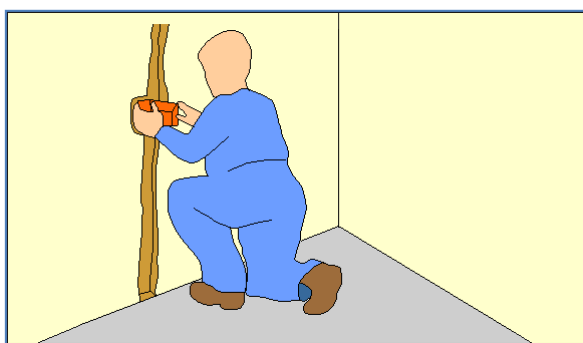
Con un sistema wireless, nel caso di una struttura già esistente, non si ha la necessità di modifiche strutturali per facilitare la posa del cablaggio o in genere per raggiungere punti di difficile accesso.
Nella scelta di dove collocare un nodo (un elettrodomestico, un sensore, un comando, ecc.) non si è più vincolati alla presa di rete (per esempio del bus) con il collegamento delle apparecchiature in modo wireless, infatti, si ha una maggiore libertà nel posizionamento dei nodi della rete; tutta l'area di copertura della comunicazione è potenzialmente fruibile.
Sono noti a tutti i principali problemi degli attuali impianti elettrici (in particolare di tipo residenziale/civile) emersi soprattutto in questi ultimi anni e causati dalla sempre maggiore richiesta, da parte dell'utente finale, di nuove prestazioni, funzionalità ed esigenze, nonché di una flessibile e semplice interoperabilità fra dispositivi elettrici/elettronici presenti nell'ambiente domestico/lavorativo.
I più evidenti di questi problemi sono:

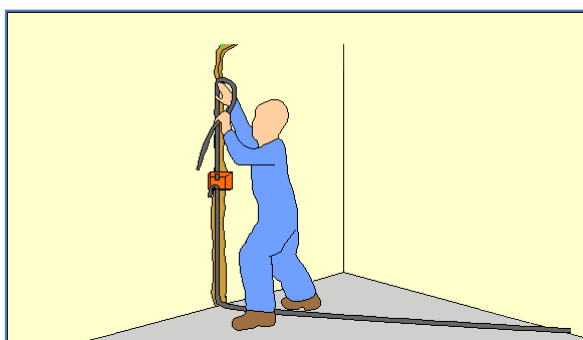
- elevati costi realizzativi di tipo elettrico e di tipo edile;

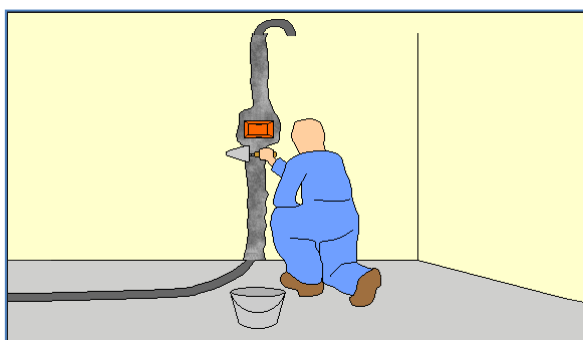
- dislocazione dei punti di comando e dei punti di acquisizione (sensori) prefissata (quindi fissa ad incasso e scelta normalmente non dall'utilizzatore finale);
- associazione comando-luce o sensore-attuatore fissa e predeterminata (scelta normalmente non dall'utilizzatore finale) e vincolata ad un ulteriore cablaggio dedicato;
- difficoltà ed elevati tempi realizzativi per modifiche all'impianto successive (nel caso fossero possibili);
- pericolosità: punti di comando, accessibili a tutti, alla tensione di rete (220 V).

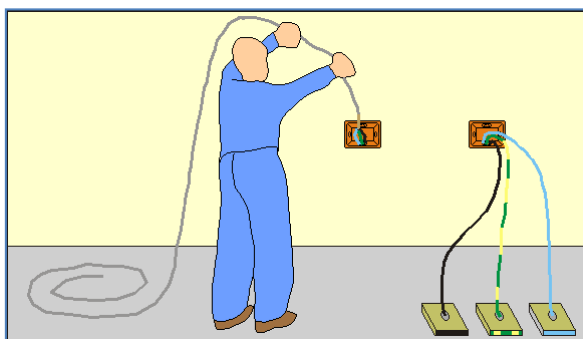
Come esempio, vengono visualizzate le fasi lavorative attualmente necessarie per realizzare o modificare un semplice punto di comando a parete (classico interruttore per accendere e spegnere una luce).

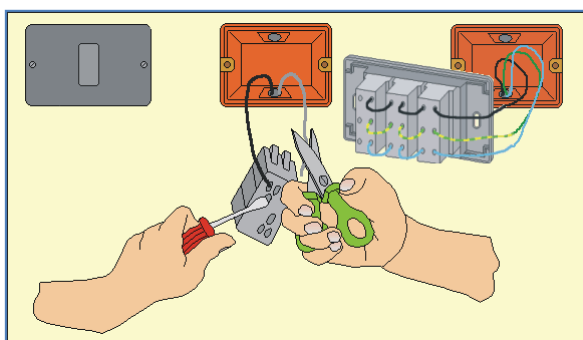
Fase1:

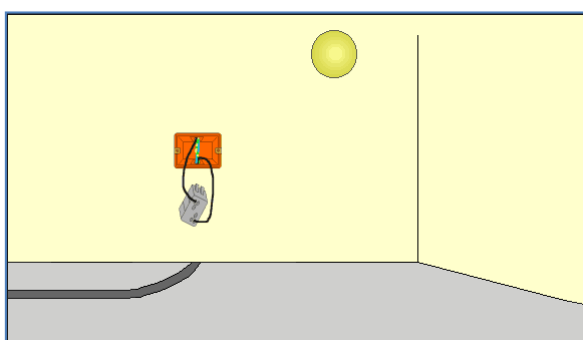
tracciamento e opere murarie per l'incasso della scatola (interruttore) e per il passaggio del tubo flessibile (cablaggi dedicati)

Fase2:

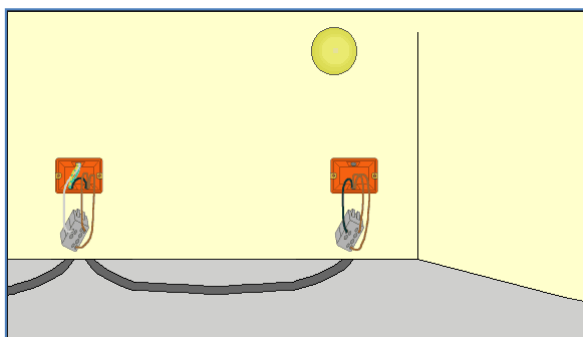
posizionamento e inserimento della scatola da incasso

Fase3:

posizionamento e inserimento nella canalina del tubo flessibile, nel quale verranno alloggiati i cavi

Fase4:

opere murarie di richiusura della canalina realizzata e successiva imbiancatura della parete

Fase5:

inserimento dei fili/cavi adatti alla funzionalità che si sta realizzando (vedi normative CEI, sezione del cavo, ecc...)

Fase6:

collegamenti nuovi o adattati ad una realtà già presente, mediante connettori dedicati

Fase7:

fase conclusiva di alloggiamento del modulo interruttore (vedi fig sopra) o dei moduli deviatori (vedi fig sotto), nel caso di 2 punti di comando per uno stesso punto luce

Quindi oggi sono necessarie almeno 7 fasi lavorative per realizzare “ex novo” questa semplice funzionalità (comando-luce) oppure per effettuare una semplice modifica, al proprio impianto elettrico, relativa (vedi esempio precedente) al riposizionamento di un punto di comando per una luce.

Inoltre è utile osservare che durante le citate 7 fasi lavorative è necessario l'opera sequenziale di diversi specialisti, quali il muratore, l'imbianchino e l'elettricista.

Nel caso di modifiche successive alla realizzazione dell'impianto elettrico è buona norma (ed in molti casi obbligatorio per legge), fornire al proprio Comune il dettaglio della variazione desiderata.

Grazie alle innovative tecnologie wireless, tutti i problemi precedentemente illustrati vengono risolti ed eliminati facilmente, inoltre l'impianto elettrico di casa o ufficio diventa:

I. di cablato rimane solo la parte di potenza, cioè la linea che serve i singoli carichi, quali luci, elettrodomestici, azionamenti, ecc.;
II. meno costoso, più flessibile e meno invasivo;
III. adattabile in qualsiasi momento alle proprie esigenze:
    - posizionamento dei punti di comando e dei sensori totalmente libero (non più vincolato dal cablaggio);
    - associazione interruttore-luce o sensore-attuatore (quindi associazione delle funzionalità domestiche) semplice e modificabile in qualsiasi momento futuro, anche dall'utente finale.

Con un impianto senza fili è poi possibile ricevere e trasmettere dati anche quando si è in movimento, essendo ogni nodo della rete non vincolato da una posizione fissa; così è possibile spostarsi senza perdere operatività. E' inoltre possibile in qualsiasi momento aggiungere un dispositivo di comunicazione (nodo) alla rete senza aggiunta di prese, connettori o di altre predisposizioni.

A differenza delle soluzioni cablate è possibile un'indisponibilità del canale radio. Tanto maggiore sarà la diffusione delle comunicazioni radio per la domotica, tanto maggiore sarà la possibilità di avere problemi di

indisponibilità del canale (a parità di banda) che per sua natura deve essere condiviso da tutti i componenti. Come conseguenza più grave, si avrà un ritardo nella comunicazione.
Nelle soluzioni wireless si deve alimentare i nodi di comando, sia il nodo trasmittente che quello ricetrasmittente. Quindi c'è la necessità di un'alimentazione ad esempio a batteria, nel caso non si voglia utilizzare la classica tensione 220 V di rete e, come conseguenza diretta, si deve prevedere la sostituzione delle pile dei nodi a intervalli di tempo.
L'inconveniente maggiore delle tecnologie wireless è legato alla natura del canale di trasmissione, l'etere, difficilmente modellabile vista l'aleatorietà temporale e spaziale dello stesso. Questo canale trasmissivo è poi vasto e non protetto, quindi i segnali che lo attraversano sono soggetti ad interferenze e a disturbi di varia natura che degradano rapidamente il segnale. Il disturbo, poi, porta l'errore nella trasmissione e la conseguenza è la ritrasmissione del messaggio, questo provoca anche l'aumento dei tempi di invio/ricezione dei messaggi.
Lo sviluppo delle tecnologie wireless tiene conto di questi problemi, avendo cura di garantire sia il minor numero di interferenti con il segnale trasmesso, sia il minor consumo di potenza.
Basate sulla tecnica a dispersione di spettro (Spread Spectrum), si sono imposte due tecnologie di modulazione grazie alla loro robustezza nei confronti delle interferenze:

- la tecnica Direct Sequenze Spread Spectrum (DSSS);
- la tecnica Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS).

Queste tecniche permettono di ottenere un segnale a bassa densità spettrale di potenza (essendo distribuito su un'ampia banda di frequenza) che minimizza la possibilità di interferire con altri segnali presenti nella medesima area. Un altro vantaggio importante è legato alla ridondanza del

messaggio (esso è presente su più frequenze) che rende il sistema altamente resistente al rumore ed alle interferenze.

Sempre come conseguenza diretta della natura del canale trasmissivo si hanno anche problemi di sicurezza, intesa come affidabilità e non intercettazione dei messaggi, con le soluzioni wireless. Oggi esistono già codici di codifica (a 128 bit) considerati sicuri, ma si ha per questo un aumento dei costi.

Oggi il nuovo orizzonte delle reti utilizzate in Domotica è rappresentato dalle “Wireless Local Area Network” (WLAN) che possono essere considerate una valida ed intelligente alternativa alle reti cablate.

Nelle moderne WLAN ogni singolo nodo non solo può trasmettere e ricevere informazioni, ma può anche essere un “ponte” permettendo di raggiungere in modo migliore un nodo remoto ai confini della copertura, aumentando l’affidabilità del sistema complessivo.

Reti di questo tipo vengono chiamate “Wireless Mesh Networks” e rappresentate in figura 5.2.

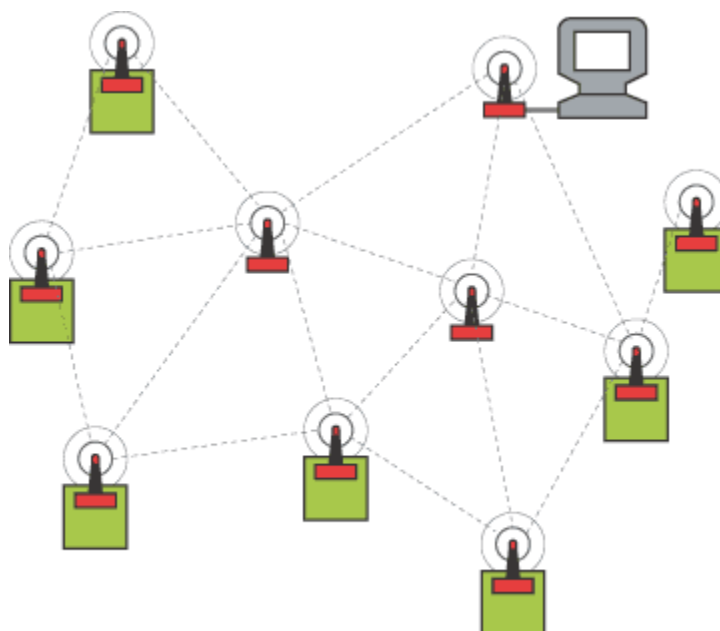



Fig. 5.2: Semplice esempio di una Wireless Mesh Network.

Queste maggiori capacità non erano possibili attraverso una connessione wireless “tradizionale”, dove per esempio, un singolo nodo poteva solamente o ricevere o trasmettere il dato, quindi era un trasmettitore o era un ricevitore.
Si riassume nella tabella 5.2 le differenze principali tra gli impianti cablati e wireless.

Tab. 5.2: Differenze tra impianti cablati e wireless

Installazione cablata	Installazione wireless
Mezzo trasmissivo soggetto ad usura o a possibili danni	Mezzo trasmissivo che non si guasta (etere)
Costi di installazione e dei cavi legati al cablaggio	Risparmio economico legato alla riduzione di cablaggio
Cambiamenti futuri dell’impianto comportano spesso modifiche strutturali, difficoltà ed elevati tempi realizzativi	Assenza di modifiche strutturali per cambiamenti futuri dell’impianto → ridotto impatto ambientale, risparmio economico, più flessibile, meno invasivo, adattabile in qualsiasi momento alle proprie esigenze
Dislocazione dei punti di comando e acquisizione prefissata	Dislocazione variabile in qualsiasi momento, è possibile trasmettere anche in movimento
Pericolosità dei punti di comando 220 V	Punti di comando sicuri
Cablaggi necessari per l’aggiunta di dispositivi di comunicazione	Aggiunta di dispositivi di comunicazione immediata e implementabile anche dall’utente
Nessun ritardo nella comunicazione per assenza di canali radio	Ritardi nella comunicazione per possibile indisponibilità del canale radio
Alimentazione da rete	In caso di alimentazione da pile, loro sostituzione a intervalli di tempo
Limitati problemi di interferenza e disturbi	Interferenze e disturbi legati al canale trasmissivo
Affidabile	Possibili problemi di affidabilità con codici di codifica < 128 bit

CONCLUSIONI

CONCLUSIONI

Negli impianti elettrici, in particolare di tipo residenziale/civile, i principali problemi emersi soprattutto in questi ultimi anni sono causati dalla sempre maggiore richiesta, da parte dell'utente finale, di nuove prestazioni, funzionalità ed esigenze, nonché di una flessibile e semplice interoperabilità fra dispositivi elettrici/elettronici presenti nell'ambiente domestico/lavorativo.

Nel capitolo 5 sono stati analizzati i più evidenti di questi problemi che brevemente vengono di seguito riportati:

- elevati costi realizzativi di tipo elettrico e di tipo edile;
- dislocazione dei punti di comando e dei punti di acquisizione (sensori) prefissata (quindi fissa ad incasso e scelta normalmente non dall'utilizzatore finale);
- associazione comando-luce o sensore-attuatore fissa e predeterminata (scelta normalmente non dall'utilizzatore finale) e vincolata ad un ulteriore cablaggio dedicato;
- difficoltà ed elevati tempi realizzativi per modifiche all'impianto successive (nel caso fossero possibili);
- pericolosità: punti di comando, accessibili a tutti, alla tensione di rete (220 V).

Tutti questi problemi vengono risolti ed eliminati facilmente utilizzando le innovative tecnologie wireless.

Nel quarto capitolo, infatti, attraverso lo studio dell'impianto elettrico di due soluzioni abitative di diversa grandezza viene mostrato il risparmio economico conseguibile scegliendo la piattaforma "Wireless Mesh Network"

della Smart Mesh Building, rispetto alle piattaforme analogica classica e a bus di tipo cablato. Si è dimostrato come tale risparmio aumenti all'aumentare della metratura dell'abitazione, cioè dell'estensione dell'impianto. Infatti la riduzione del cablaggio comporta una spesa minore sui cavi e sulle opere di installazione sia elettriche che edili. Conseguentemente si ha anche una maggiore semplicità d'installazione proprio perché non si devono installare o collegare cavi: un sistema senza fili è immediatamente operativo.

Nei capitoli precedenti, infatti, si è mostrato che sono necessarie, per una soluzione cablata, almeno 7 fasi lavorative per realizzare "ex novo" o modificare un semplice punto di comando a parete (ad esempio: classico interruttore per accendere e spegnere una luce):

I. tracciamento e opere murarie per l'incasso della scatola (interruttore) e per il passaggio del tubo flessibile;
II. posizionamento e inserimento della scatola da incasso;
III. posizionamento e inserimento nella canalina del tubo flessibile, nel quale verranno alloggiati i cavi;
IV. opere murarie di richiusura della canalina realizzata e successiva imbiancatura della parete;
V. inserimento dei fili/cavi adatti alla funzionalità che si sta realizzando;
VI. collegamenti nuovi o adattati ad una realtà già presente, mediante connettori dedicati;
VII. fase conclusiva di alloggiamento del modulo (interruttore) o dei moduli.

E' poi necessario durante queste 7 fasi l'opera sequenziale di diversi specialisti, quali il muratore, l'imbianchino e l'elettricista.

Con la piattaforma totalmente wireless, di fatto, di cablato rimane solo la parte di potenza, cioè la linea che serve i singoli carichi, quali luci,

elettrodomestici, azionamenti, ecc. E', quindi, più flessibile, meno invasiva ed adattabile in qualsiasi momento alle proprie esigenze poiché:

- il posizionamento dei punti di comando e dei sensori è totalmente libero (non più vincolato dal cablaggio);
- l'associazione interruttore-luce o sensore-attuatore (cioè l'associazione delle funzionalità domestiche) è semplice e modificabile in qualsiasi momento futuro, anche dall'utente finale.

Nel caso di una struttura già esistente, poi, non si ha la necessità di modifiche strutturali per facilitare la posa del cablaggio o in genere per raggiungere punti di difficile accesso. Soprattutto in edifici con rilevanza storica e artistica si può limitare fortemente l'impatto dei lavori d'installazione.

Al termine di questo lavoro di Tesi si può, quindi, affermare quanto la nuova piattaforma proposta rappresenti in concreto il futuro degli impianti elettrici.

BIBLIOGRAFIA

1] *Domotica con KNX.* Roberto Rocco. Editoriale Delfino.

2] *Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica.* N. Faletti, P. Chizzolini. Edizioni Patron.

3] *Fondamenti di sicurezza elettrica.* V. Carrescia. Edizione TNE.

4] *Building Automation.* Alessio Rubini. Dispensa. Dipartimento di Elettrotecnica. Politecnico di Milano.

5] *Standard IEEE 802.15.4 e ZigBee.* Stefano Maggi. Dispensa. Dipartimento di Elettrotecnica. Politecnico di Milano.

6] *Introduzione alla domotica.* Stefano Maggi. Dispensa. Dipartimento di Elettrotecnica. Politecnico di Milano.

7] *Introduzione al "wireless" in Domotica.* Stefano Maggi. Dispensa. Dipartimento di Elettrotecnica. Politecnico di Milano.

8] *Applicazione e vantaggi dei sistemi domotici.* Luigi Martirano. Dispensa. Dipartimento di Ing. Elettrica. Università "La Sapienza" di Roma.

9] *Corso "Domotica ed edifici intelligenti".* Luca Romanelli. Dispensa. Università di Urbino.

10] *Prezzario delle Opere Edili. (II trimestre 2010).* CCIAA di Milano.

11] *Catalogo generale 2009.* Vimar.

12] *Sistema domotico. By-me. (2010).* Vimar.

13] *Listino generale 90. (1 Dicembre 2009).* Vimar.

14] *Schemario impianti elettrici civili tradizionali.* Bticino.

15] *Distribuzione BTDIN.* Bticino.

16] *Listino prezzi 1 Luglio 2010.* Bticino.

17] *Manuale tecnico.* Mondini Cavi.

18] *Listino 85. (Aprile 2010).* Mondini Cavi.